

**TUGAS AKHIR - TL141584**

**ANALISA PENGARUH SALINITAS DAN TEMPERATUR  
AIR LAUT TERHADAP KEBUTUHAN ARUS PROTEKSI  
DENGAN SISTEM PROTEKSI KATODIK ARUS PAKSA  
PADA PIPA BAJA API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN  
*SIMULATED OCEAN***

**ABYAN KURNIA HANIF**  
**NRP. 02511440000088**

Dosen Pembimbing  
Tubagus Noor Rohmannudin ST., M.Sc.  
Lukman Noerochim ST., M.Sc, Eng., Ph.D

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL**  
Fakultas Teknologi industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**TUGAS AKHIR - TL141584**

**ANALISA PENGARUH SALINITAS DAN TEMPERATUR  
AIR LAUT TERHADAP KEBUTUHAN ARUS PROTEKSI  
DENGAN SISTEM PROTEKSI KATODIK ARUS PAKSA  
PADA PIPA BAJA API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN  
*SIMULATED OCEAN***

**ABYAN KURNIA HANIF  
NRP. 02511440000088**

Dosen Pembimbing  
Tubagus Noor Rohmannudin ST., M.Sc.  
Lukman Noerochim ST., M.Sc, Eng., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL141584**

**EFFECT OF ANALYZING SEA WATER SALINITY  
AND TEMPERATURE AGAINST NEED OF  
PROTECTION CURRENT WITH IMPRESSED  
CURRENT CATHODIC PROTECTION ON STEEL  
PIPE API 5L GRADE B IN SIMULATED OCEAN  
ENVIRONMENT**

**ABYAN KURNIA HANIF**  
**NRP. 02511440000088**

**Advisor Lecturer**  
**Tubagus Noor Rohmannudin ST., M.Sc.**  
**Lukman Noerochim ST., M.Sc, Eng., Ph.D**

**DEPARTMENT OF MATERIALS ENGINEERING**  
**Faculty of Industry Technology**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2018**

*(This page is intentionally left blank)*

**ANALISA PENGARUH SALINITAS DAN  
TEMPERATUR AIR LAUT TERHADAP  
KEBUTUHAN ARUS PROTEKSI SISTEM PROTEKSI  
KATODIK ARUS PAKSA PADA PIPA BAJA API 5L  
GRADE B DI LINGKUNGAN *SIMULATED OCEAN***

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ABYAN KURNIA HANIF**  
NRP. 02511440000088

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Tubagus Noor Rohmannudin ST.,M.Sc. .... (Pembimbing I)
2. Lukman Noerochim ST.,M.Sc,Eng, Ph.D. .... (Pembimbing II)



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **ANALISA PENGARUH SALINITAS DAN TEMPERATUR AIR LAUT TERHADAP KEBUTUHAN ARUS PROTEKSI SISTEM PROTEKSI KATODIK ARUS PAKSA PADA PIPA BAJA API 5L GRADE B DI LINGKUNGAN *SIMULATED OCEAN***

**Nama** : Abyan Kurnia Hanif  
**NRP** : 02511440000088  
**Departemen** : Departemen Teknik Material  
**Pembimbing** : Tubagus Noor Rohmannudin. ST., M.Sc  
Lukman Noerochim. ST., M.Sc, Eng, Ph.D

## ***Abstrak***

*Permasalahan yang sering dihadapi oleh pipa yang berada di lepas pantai adalah korosi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut digunakan sistem proteksi katodik arus paksa (ICCP). Metode ini dipilih karena mudah dalam mengontrol arus proteksi yang diberikan ke sistem. Anoda yang digunakan dalam penelitian ini adalah grafit dan katoda yang digunakan adalah pipa baja API 5L grade B. Variasi konsentrasi garam dalam larutan adalah 3.2%, 3.5%, dan 3.8%. Variasi temperatur larutan adalah 30°C, 40°C, dan 50°C. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi garam dan temperatur di dalam larutan maka semakin besar arus proteksi yang dibutuhkan oleh pipa. Hal ini diperkuat dengan data yang didapatkan yaitu arus proteksi tertinggi sebesar 1.38 mA dan terendah sebesar 1.16 mA. Selain itu, semakin tinggi temperatur larutan maka semakin tinggi pula arus proteksi yang dibutuhkan oleh pipa serta laju korosi juga didapatkan melalui pengujian weight loss. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa peningkatan konsentrasi garam dan temperatur di dalam larutan berdampak signifikan terhadap kebutuhan arus proteksi pipa.*

***Kata kunci : Proteksi Katodik Arus Paksa, Salinitas, Temperatur, Arus Proteksi***

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **EFFECT OF ANALYZING SEA WATER SALINITY AND TEMPERATURE AGAINST NEED OF PROTECTION CURRENT WITH IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION ON STEEL PIPE API 5L GRADE B IN SIMULATED OCEAN ENVIRONMENT**

**Name** : Abyan Kurnia Hanif  
**SRN** : 02511440000088  
**Department** : Materials Engineering  
**Advisor** : Tubagus Noor Rohmannudin. ST., M.Sc  
Lukman Noerochim. ST., M.Sc, Eng, Ph.D

## **Abstract**

*The problems oftenly dealt by pipe on the offshore application is corrosion. To solve the problems, Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) is applied. This method is used since it is easy to control the flow of protection current protection delivered to the system. Anode used in this research was graphite model M120H and cathode used was a steel pipe API 5L grade B. Salt concentration was varied at 3.2 % , 3.5 % , and 3.8 % . Solution temperature was varied at 30°C, 40°C, and 50°C. Result of this research indicates that higher salt concentration and temperature in solution results in higher requirement of protection current. This was confirmed by the data that the higher required protection current was 1.38 mA. Meanwhile the lowest required protection current was 1.16 mA. This data is supported with the weight loss test for the corrosion rate that. It is then concluded that the higher salt concentration and solution temperature have significant impact on the demand of protection current.*

**Keywords : Impressed Current Cathodic Protection, Salinity, Temperatur, Protection Current**

*(This page is intentionally left blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena berkat atas rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan mata kuliah Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul “**Analisa Pengaruh Salinitas dan Temperatur Air Laut terhadap Kebutuhan Arus Proteksi Sistem Proteksi Katodik Arus Paksa pada pipa baja API 5L grade B di lingkungan *Simulated Ocean***”. Laporan tugas akhir ini dibuat dengan tujuan untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan di Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dari seluruh pihak, laporan ini tidak akan terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ini mengucapkan terimakasih kepada beberapa pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan pada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, yaitu:

1. Alm. Bapak dan Ibu serta keluarga yang selalu mendoakan, memberikan dukungan, semangat, cinta kasih, dan motivasi.
2. Bapak Tubagus Noor Rohmannudin. ST., M.Sc dan Bapak Lukman Noerochim ST., M.Sc, Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir dari awal hingga akhir pengerjaan laporan dan memberikan banyak ilmu terkait tugas akhir yang dikerjakan oleh penulis.
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI – ITS.
4. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI-ITS.
5. Bapak Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D. selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material.

6. Keluarga yang telah mendukung dan membantu dari segi materi hingga batin penulis.
7. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
8. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi angkatan 2013, 2014, 2015, dan 2016.
9. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat kepada seluruh pihak yang membaca. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam menulis laporan tugas akhir ini, sehingga penulis menerima kritik dan saran yang dapat membangun serta memperbaiki kekurangan demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 20 Juli 2018  
Penulis,

Abyan Kurnia Hanif  
02511440000088

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR JUDUL .....</b>	<b>iii</b>
<b>PAGE TITLE .....</b>	<b>v</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Korosi.....	5
2.2 Mekanisme Korosi .....	5
2.3 Deret Volta.....	7
2.4 Jenis-Jenis Korosi.....	8
2.5 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Korosi.....	14
2.6 Laju Korosi .....	15
2.7 Pencegahan Korosi.....	17
2.8 Proteksi Katodik.....	19
2.9 Anoda.....	23
2.10 Elektroda Referensi .....	25
2.11 Potensial Proteksi .....	26
2.12 Diagram Pourbaix .....	27
2.13 Overprotection.....	28
2.14 Pengaruh Temperatur terhadap korosi.....	28
2.15 Temperatur Air Laut.....	29
2.16 Salinitas Air Laut .....	30
2.17 Penelitian Sebelumnya .....	32

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>41</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	41
3.2 Standar yang Digunakan .....	45
3.3 Alat dan Bahan.....	45
3.4 Langkah Perancangan.....	46
3.5 Tabel Eksperimen/Pengujian.....	60
3.6 Jadwal dan Tempat Pelaksanaan .....	60
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>61</b>
4.1 Analisis Data .....	61
4.2 Pembahasan.....	91
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>61</b>
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xiii</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>xvi</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>	<b>xxv</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>xxvii</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Mekanisme korosi (Haryono,2010).....	7
<b>Gambar 2.2</b> Korosi celah (Fontana, 1986) .....	10
<b>Gambar 2.3</b> Korosi Merata (Fontana,1986) .....	11
<b>Gambar 2.4</b> Korosi Erosi (Fontana,1986) .....	13
<b>Gambar 2.5</b> Korosi SCC (Fontana,1986).....	13
<b>Gambar 2.6</b> Rangkaian Proteksi Katodik Anoda Tumbal .....	20
<b>Gambar 2.7</b> Rangkaian Proteksi Katodik Arus Paksa .....	23
<b>Gambar 2.8</b> Potensial Elektroda referensi terhadap SHE.....	25
<b>Gambar 2.9</b> Diagram Pourbaix (Jing Ning, 2014) .....	27
<b>Gambar 2.10</b> Diagram Laju Korosi & Temperatur .....	29
<b>Gambar 2.11</b> Temperatur air laut di bumi (www.geografi.id)...	30
<b>Gambar 2.12</b> Skema Rangkaian ICCP.....	32
<b>Gambar 2.13</b> Pengukuran Resistivitas Tanah .....	33
<b>Gambar 2.14</b> Grafik perbandingan nilai arus proteksi dengan kadar air 0% .....	35
<b>Gambar 2.15</b> Rangkaian Proteksi Katodik Arus Paksa .....	36
<b>Gambar 2.16</b> Rangkaian Pengujian Resistivitas Tanah.....	37
<b>Gambar 2. 17</b> Grafik Pengukuran Pontesial Awal .....	37
<b>Gambar 2.18</b> Grafik Nilai Resistivitas Tanah .....	38
<b>Gambar 2.19</b> Grafik Pengukuran Arus Proteksi.....	38
<b>Gambar 2.20</b> Grafik Pengukuran Potensial Proteksi .....	39
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Akir Penelitian.....	44
<b>Gambar 3.2</b> Langkah Pembuatan larutan NaCl.....	47
<b>Gambar 3.3</b> Penampang Pipa Baja API 5L grade B.....	48
<b>Gambar 3.4</b> Penampang Anoda Grafit.....	49
<b>Gambar 3.5</b> Kabel tembaga Eterna .....	50
<b>Gambar 3.6</b> Skema Box Container .....	51
<b>Gambar 3.7</b> Penampang Box Container.....	51
<b>Gambar 3.8</b> Cellkit Rectifier.....	52
<b>Gambar 3.9</b> Elektroda Referen Kalomel .....	52
<b>Gambar 3.10</b> Avometer/Multitester .....	53
<b>Gambar 3.11</b> Skema Pengukuran arus dan potensial proteksi pada rangkaian ICCP .....	53

<b>Gambar 3. 12</b>	Pengukuran Potensial Elektroda Referen .....	54
<b>Gambar 3.13</b>	Rancangan percobaan pada salinitas NaCl 3.2% .	55
<b>Gambar 3.14</b>	Rancangan percobaan pada salinitas NaCl 3.5% .	56
<b>Gambar 3.15</b>	Rancangan percobaan dengan salinitas 3.8% .....	57
<b>Gambar 3. 16</b>	Pengukuran Potensial Proteksi & Arus Proteksi.	58
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik Potensial Awal Imersi Pipa dalam Elektrolit 3.2% NaCl, 3.5% NaCl, dan 3.8% NaCl .....	62
<b>Gambar 4.2</b>	Arus Proteksi Pipa dalam Salinitas 3.2% NaCl .....	67
<b>Gambar 4.3</b>	Arus Proteksi Pipa dalam Salinitas 3.5% NaCl .....	72
<b>Gambar 4.4</b>	Arus Proteksi Pipa dalam Salinitas 3.8% NaCl .....	77
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik Perbandingan Arus Proteksi Pipa dalam kondisi temperatur 30°C pada elektrolit NaCl 3.2%, 3.5%, 3.8% .....	78
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik Perbandingan Arus Proteksi Pipa dalam kondisi temperatur 40°C pada elektrolit NaCl 3.2%, 3.5%, 3.8% .....	79
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik Perbandingan Arus Proteksi Pipa dalam kondisi temperatur 50°C pada elektrolit NaCl 3.2%, 3.5%, 3.8% .....	80
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik Perbandingan Potensial Proteksi Pipa PA1, PA2, PA3, PB1, PB2, PB3, PC1, PC2, dan PC3 .....	81

)

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Tingkat Ketahanan Korosi berdasarkan Laju Korosi .	16
<b>Tabel 2. 2</b> Jenis dan Spesifikasi Anoda.....	24
<b>Tabel 2.3</b> Kandungan Air Laut .....	31
<b>Tabel 2.4</b> Nilai arus proteksi masing-masing resistivitas dengan kadar air 0% .....	34
<b>Tabel 3. 1</b> Komposisi Baja API 5L grade B.....	48
<b>Tabel 3.2</b> Tabel Eksperimen .....	60
<b>Tabel 3.3</b> Tabel Jadwal & Pelaksanaan .....	61
<b>Tabel 4.1</b> Kondisi awal Setelah Imersi Pipa dalam elektrolit (a) 3.2 NaCl, (b) 3.5% NaCl, dan (c) 3.8% NaCl Tanpa Instalasi ICCP selama durasi 8 hari imersi.....	61
<b>Tabel 4.2</b> Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PA1 selama 15 hari pengujian ICCP .....	64
<b>Tabel 4.3</b> Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PA2 selama 15 hari pengujian ICCP .....	65
<b>Tabel 4.4</b> Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PA3 selama 15 hari pengujian ICCP .....	66
<b>Tabel 4.5</b> Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PB1 selama 15 hari pengujian ICCP .....	69
<b>Tabel 4.6</b> Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PB2 selama 15 hari pengujian ICCP .....	70
<b>Tabel 4.7</b> Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PB3 selama 15 hari pengujian ICCP .....	71
<b>Tabel 4.8</b> Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PC1 selama 15 hari pengujian ICCP .....	74
<b>Tabel 4.9</b> Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PC2 selama 15 hari pengujian ICCP .....	75
<b>Tabel 4.10</b> Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PC3 selama 15 hari pengujian ICCP .....	76

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Pada industri minyak dan gas bumi terutama pada pipeline offshore, korosi masih menjadi suatu sorotan penting mengingat dampak yang diberikan akibat dari adanya korosi tersebut. Pengendalian korosi sangat diperlukan, khususnya pada sistem perpipaan industri yang sangat berpotensi untuk terjadi korosi. Selain itu pipa baja banyak digunakan dalam berbagai industri, pipa baja biasa digunakan untuk memindahkan zat hasil pemrosesan seperti cairan, gas, uap, zat padat yang dicairkan maupun serbuk halus. Material yang digunakan sebagai pipa sangat banyak diantaranya adalah beton cor, gelas, timbal, kuningan (brass), tembaga, plastik, aluminium, besi tuang, namun pada umumnya material yang umum digunakan sebagai pipa adalah baja karbon dan baja paduan. Pada pipa baja yang ditanam didalam tanah maupun air laut sangat rawan terjadi korosi akibat pengaruh lingkungan sekitarnya.

Proteksi pada pipa baja diperlukan agar menghambat laju korosi sehingga pipa tersebut tidak mengalami kegagalan atau kerusakan yang dapat membahayakan lingkungan sekitar. Beberapa pengendalian korosi dapat diterapkan untuk mengurangi laju korosi pada pipa, seperti penggunaan inhibitor, coating atau pelapisan, insulasi, dan sistem proteksi katodik. Salah satu metode untuk mengendalikan korosi adalah dengan proteksi katodik metode *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)*. ICCP merupakan suatu metode yang bertujuan untuk mencegah korosi pada material baja atau besi. Yaitu dengan cara membalikkan arah arus listrik dalam proses terjadinya korosi yang berarti mengalirkan arus listrik (DC) searah keseluruhan permukaan logam melalui elektrolit. Alasan yang paling umum untuk memilih ICCP yaitu dengan menggunakan galvanic cathodic dikarenakan kebutuhan arus proteksinya baik dibandingkan dengan proteksi dengan menggunakan bahan lain. Anoda yang digunakan yaitu

---



material yang inert. Dengan demikian, material seperti platina, emas, dan grafit sering digunakan sebagai anoda dalam metode Impressed Current Cathodic Protection (ICCP).

Dalam penelitian tugas akhir ini membahas rancangan sistem proteksi katodik arus paksa (Impressed Current Cathodic Protection) yang disimulasikan dalam prototype skala laboratorium yang disesuaikan dengan standar rangkaian yang ada dengan menggunakan variasi salinitas dan temperatur elektrolit pada pipa baja API 5L grade B di lingkungan Simulated Ocean. Katoda yang digunakan yaitu pipa baja API 5L dan anoda berupa grafit. Hasil perhitungan dan pembahasan menunjukkan dan membandingkan kebutuhan arus proteksi dan laju korosi pada setiap variasi perlakuan lingkungan yang diberikan..

### **1.2 Perumusan Masalah**

Pada penelitian tugas akhir ini terdapat masalah yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana pengaruh salinitas air laut terhadap kebutuhan arus proteksi sistem proteksi katodik arus paksa pada pipa baja API 5L grade B di lingkungan air laut?
2. Bagaimana pengaruh temperatur air laut terhadap kebutuhan arus proteksi sistem proteksi katodik arus paksa pada pipa baja API 5L grade B di lingkungan air laut?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini dilakukan adalah:

1. Menganalisa pengaruh variasi salinitas terhadap arus proteksi sistem ICCP pada pipa baja API 5L grade B di lingkungan air laut
2. Menganalisa pengaruh variasi temperatur terhadap arus proteksi sistem ICCP pada pipa baja API 5L grade B di lingkungan air laut



#### **1.4 Batasan Masalah**

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari permasalahan dan memperoleh hasil yang baik, terdapat batasan masalah pada :

1. Dimensi pipa dianggap homogen dan bebas cacat
2. Tingkat pH larutan dianggap konstan
3. Nilai resistivitas larutan NaCl diabaikan
4. Pipa diasumsikan tidak dialiri fluida

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini memiliki manfaat yang dapat diperoleh antara lain:

1. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan informasi pengaruh salinitas dan temperatur air laut terhadap suplai arus proteksi pada pipa baja API 5L.
  2. Mendapatkan rancangan yang efektif dalam perancangan proteksi katodik arus paksa yang dapat dijadikan referensi pada lingkungan industri minyak dan gas bumi pada penanaman pipa *off-shore* di dalam air laut .
  3. Mempelajari mekanisme proteksi katodik arus paksa dengan variasi salinitas dan temperatur air laut terhadap arus proteksi pada pipa baja API 5L dalam industri minyak dan gas bumi pada penanaman pipa di dalam air laut.
- .



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*





## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Korosi**

Korosi adalah serangan yang bersifat merusak pada suatu logam oleh reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya. Pada konstruksi yang terbuat dari logam maupun non logam, korosi dapat menimbulkan kerugian biaya yang sangat besar. Pada pipa gas dan minyak, kerugian teknis yang akan dialami akibat terjadinya korosi adalah berkurangnya umur pemakaian pipa, dan akibatnya akan menimbulkan kerugian biaya untuk *replacement* material. Ada dua aspek penting yang mempengaruhi proses korosi yaitu logam dan lingkungannya. Dari sisi logam yang mempengaruhi adalah komposisi kimia dan elektroda las yang digunakan. Sedangkan dari segi lingkungan, beberapa aspek yang berpengaruh adalah kadar garam (salinitas) dan temperatur. Air laut memiliki kandungan garam sebesar 3-4% yang setara dengan salinitas 30 – 40 ‰. Sedangkan suhu permukannya berkisar antara 0 – 300 °C. ( M.K. & Nurul, 2012)

Korosi merupakan penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya yang berhubungan langsung dengan udara terbuka, sering disebut juga dengan korosi atmosfer (Trethewey et al., 1991). Hal ini dikarenakan pada umumnya logam selalu berhubungan dengan udara terbuka yang kelembaban dan kandungan polutannya dapat mempengaruhi korosifitas logam. Faktor-faktor seperti temperatur, kelembaban dan kandungan bahan kimia dalam udara sangat menentukan laju korosi (Fontana, 1987; Agung, 2004). Sementara itu, komposisi logam, struktur metalurgi, dan proses pembuatan logam juga mempercepat timbulnya korosi. (American Galvanizers Association, 2000).

#### **2.2 Mekanisme Korosi**

Menurut Trethewey (1991), mekanisme reaksi korosi pada besi dalam baja adalah sebagai berikut:

---

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**



Pada anoda terjadi pelarutan besi (Fe) menjadi ion  $\text{Fe}^{2+}$  :



sedangkan pada katoda terjadi reaksi :



untuk lingkungan (larutan) netral maka reaksi yang terjadi sebagai berikut :



dan untuk lingkungan (larutan) asam maka reaksi yang terjadi sebagai berikut :



Reaksi di atas terjadi secara bertahap dan sebenarnya terjadi juga berbagai reaksi lanjutan dalam larutan. Pada peristiwa korosi, ion ferro yang terbentuk di anoda akan teroksidasi membentuk ferrokksida (gamma iron oxide) berbentuk lapisan sangat tipis menempel pada permukaan logam dan mencegah terlarutnya besi lebih lanjut :



Demikian juga pada katoda oksigen harus mencapai permukaan logam agar reaksi (1) dan (2) terjadi. Ion hidroksil yang terbentuk juga dapat terserap pada permukaan membentuk lapisan yang menghalangi penyerapan oksigen. Pada keadaan ini terjadi polarisasi katoda dan proses korosi berjalan lambat. Pada peristiwa korosi yang cepat, lapisan penghambat (pelindung) tersebut tidak sempat terbentuk, ion Fe bereaksi dengan ion hidroksil :



Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa proses korosi di lingkungan basah dapat terjadi apabila empat syarat terpenuhi yaitu ;

1. Ada anoda tempat reaksi anodik terjadi.
2. Ada katoda tempat reaksi katodik terjadi.
3. Ada media untuk transfer elektron / arus (kontak metalik)
4. Ada lingkungan yang bersifat elektrolit. (Sumarji, 2012)

Secara umum mekanisme korosi yang terjadi di dalam suatu larutan berawal dari logam yang teroksidasi di dalam larutan, dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang

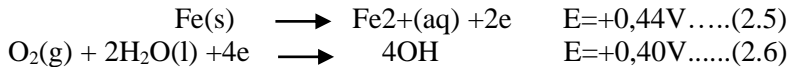
The diagram illustrates the chemical process of iron corrosion. It starts with a black block labeled 'iron'. Green arrows point from the iron surface to a series of circles representing chemical species:  $\text{Fe}^{2+}$  (blue),  $\text{H}_2\text{O}$  (blue),  $\text{O}_2$  (green),  $\text{H}_2\text{O}$  (blue), and  $\text{O}_2$  (green). These species then combine to form  $\text{Fe(OH)}_2$  (black text). From  $\text{Fe(OH)}_2$ , a downward arrow leads to  $\text{Fe(OH)}_3$  (black text), which is labeled '(Precipitate)'. To the right of the downward arrow are the labels '+H<sub>2</sub>O' and '+O<sub>2</sub>'.

Pada gambar 2.1 merupakan skema umum terjadinya proses korosi atau degradasi logam dimana material yang terkorosi adalah Fe dan menghasilkan produk korosi berupa  $\text{Fe}(\text{OH})_2$

Untuk mengetahui unsur yang lebih anodik dan lebih katodik dapat kita lihat pada deret Volta. Berikut deret Volta :



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Ion besi (II) yg terbentuk pada anoda selanjutnya teroksidasi membentuk ion besi (III) yang kemudian membentuk senyawa oksida terhidrasi  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ . (Whiten, 2013)

Berdasarkan sifatnya korosi terbagi atas :

#### 1. Korosi Aktif

Ciri-ciri dari korosi aktif ini antara lain :

- Mudah melepaskan ion
- Mudah menempel di tangan

Contoh : Paku yang berkarat

#### 2. Korosi Pasif

Ciri-ciri dari korosi pasif ini antara lain :

- Sulit melepaskan ion

Sulit menempel di tangan

Contoh : Korosi pada AL

### 2.4 Jenis-Jenis Korosi

#### 2.4.1 Korosi Universal (*Uniform Corrosion*)

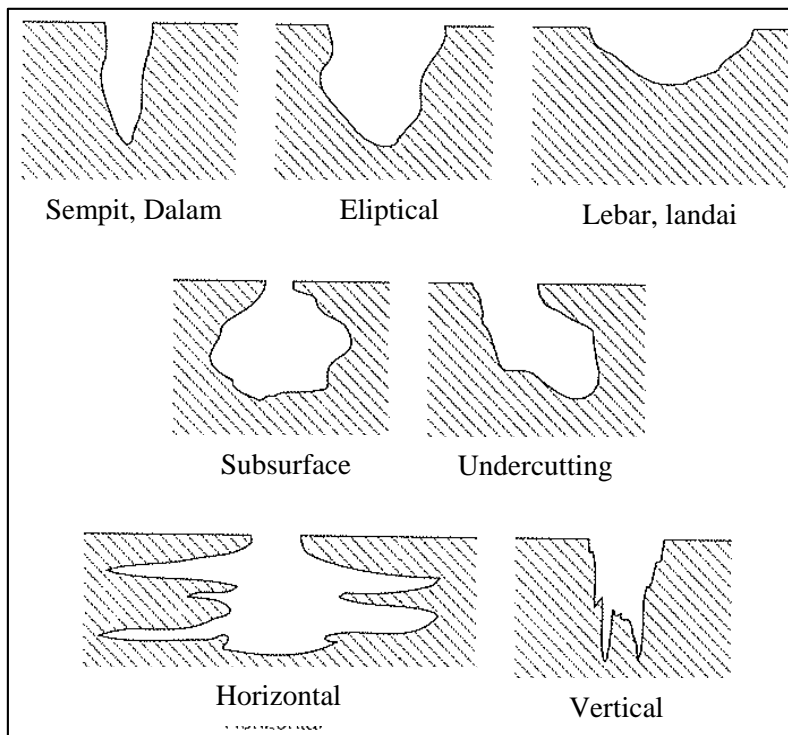
Korosi seragam merupakan korosi dengan serangan merata pada seluruh permukaan logam. Korosi terjadi pada permukaan logam yang terekspos pada lingkungan korosif. Mekanisme korosi universal adalah dengan distribusi seragam dari reaktan katodik atas seluruh permukaan logam. Pada lingkungan asam ( $\text{pH} < 7$ ) terjadi reduksi ion hidrogen dan pada lingkungan basa ( $\text{pH} > 7$ ) terjadi reduksi oksigen. Dimana korosi universal ini sering terjadi pada material yang langsung mengalami kontak dengan lingkungan yang memiliki kadar pH yang tidak netral baik itu kadar asam tinggi ataupun basa tinggi. (Fontana, 1986)

#### 2.4.2 Korosi sumuran (*Pitting Corrosion*)

Korosi sumuran merupakan korosi lokal yang terjadi pada permukaan yang terbuka akibat pecahnya lapisan pasif. Terjadinya korosi sumuran ini diawali dengan pembentukan lapisan pasif di

permukaan bahan pada antar muka lapisan pasif dan elektrolit terjadi penurunan pH, sehingga terjadi pelarutan lapisan pasif secara perlahan-lahan dan menyebabkan lapisan pasif pecah dan terjadi korosi sumuran. Korosi sumuran ini sangat berbahaya karena lokasi terjadinya sangat kecil tetapi dalam, sehingga dapat menyebabkan peralatan atau struktur patah mendadak.

(Fontana,1986)



**Gambar 2.2** Mekanisme Korosi Sumuran (Denni,1992)

Pada gambar 2.2 merupakan mekanisme korosi sumuran yang memiliki berbagai bentuk dalam proses degradasi material dimana bentuk sempit dalam adalah yang sering terjadi pada material logam seperti besi (Fe)

---

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

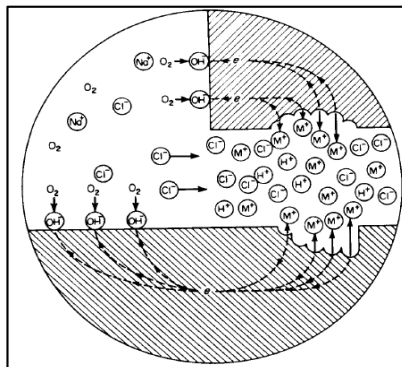


### 2.4.3 Korosi Crevice

Korosi celah (*crevice corrosion*) adalah korosi lokal yang terjadi pada celah di antara dua komponen. Mekanisme terjadinya korosi celah ini diawali dengan terjadi korosi merata di luar dan di dalam celah, sehingga terjadi oksidasi logam dan reduksi oksigen. Apabila oksigen ( $O_2$ ) di dalam celah telah habis sedangkan oksigen ( $O_2$ ) di luar celah masih banyak, maka akibatnya permukaan logam yang berhubungan dengan bagian luar menjadi katode dan permukaan logam di dalam celah menjadi anoda sehingga terbentuk celah yang terkorosi. korosi ini Tidak tampak dari luar dan sangat merusak konstruksi sering terjadi pada sambungan kurang kedap. Penyebabnya, lubang, gasket, *lap joint*, kotoran/endapan. (Fontana, 1986)

Pencegahan:

1. Peralatan – peralatan harus diperiksa dan dibersihkan secara teratur, terutama pada sambungan – sambungan yang rawan
2. Hindari pemakaian packing yang bersifat higroskopis
3. Penggunaan gasket dan absorbent seperti teflon jika memungkinkan



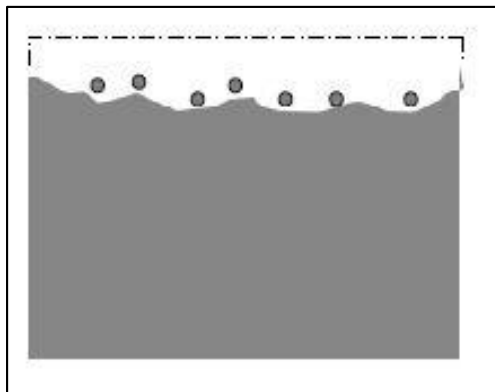
**Gambar 2.2** Korosi celah (Fontana, 1986)

Pada gambar 2.3 adalah mekanisme dari korosi celah dan bagaimana korosi celah terjadi. Adanya rongga dalam material menyebabkan faktor korosi ini sering terjadi.



#### 2.4.4 Korosi Merata

Korosi merata (*uniform corrosion*) adalah korosi yang terjadi secara serentak diseluruh permukaan logam, oleh karena itu pada logam yang mengalami korosi merata akan terjadi pengurangan dimensi yang relatif besar per satuan waktu. Kerugian langsung akibat korosi merata berupa kehilangan material konstruksi, keselamatan kerja dan pencemaran lingkungan akibat produk korosi dalam bentuk senyawa yang mencemarkan lingkungan. Sedangkan kerugian tidak langsung, antara lain berupa penurunan kapasitas dan peningkatan biaya perawatan (*preventive maintenance*). (Fontana, 1986)



**Gambar 2.3** Korosi Merata (Fontana, 1986)

Pada gambar 2.4 merupakan mekanisme korosi merata dimana korosi sering ditemui dalam material logam, dikarenakan faktor alam atau lingkungan yang sangat berpotensi dalam terjadinya korosi merata / *uniform corrosion*.

#### 2.4.5 Korosi Erosi

Korosi erosi adalah korosi yang terjadi pada permukaan logam yang disebabkan aliran fluida yang sangat cepat sehingga merusak permukaan logam dan lapisan film pelindung. Korosi erosi juga dapat terjadi karena efek-efek mekanik yang terjadi pada



permukaan logam, misalnya : pengausan, abrasi dan gesekan. Logam yang mengalami korosi erosi akan menimbulkan bagian-bagian yang kasar dan tajam.

Proses terjadinya korosi secara umum adalh melalui beberapa tahap berikut :

1. Pada tahap pertama terjadi serangan oleh gelembung udara yang menempel di permukaan lapisan pelindung logam, karena adanya aliran turbulen yang melintas di atas permukaan logam tersebut.
2. Pada tahap kedua gelembung udara tersebut mengikis dan merusak lapisan peindung.
3. Pada tahap ketiga, laju korosi semakin meningkat, karena lapisan pelindung telah hilang. Logam yang berada di bawah lapisan pelindung mulai terkorosi, sehingga membentuk cekungan, kemudian terjadi pembentukan kembali lapisan pelindung dan logam, menjadi tidak rata. Bila aliran terus mengalir, maka akan terjadi serangan kembali oleh gelembung udara yang terbawa aliran. Serangan ini akan mengikis dan merusak lapisan pelindung yang baru saja terbentuk, rusaknya lapisan pelindung tersebut akan mengakibatkan serangan lebih lanjut pada logam yang lebih dalam sampai membentuk cekungan.

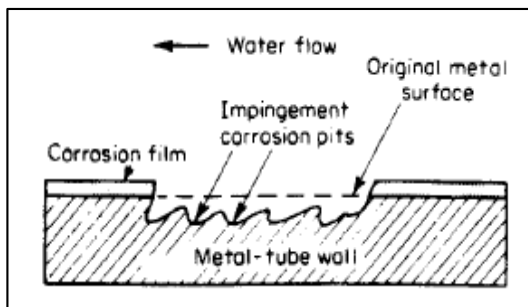
Contoh Korosi Erosi:

1. Korosi Erosi pada sambungan pipa
2. Korosi Erosi pada washing machine

Pengendalian korosi erosi dapat dilakukan dengan cara .:

1. Menggunakan kompenen yang halus dan rapi pengerjaannya, sehingga tempat pembentukan gelembung menjadi sesedikit mungkin
2. Penambahan inhibitor atau passivator
4. Proteksi katodik



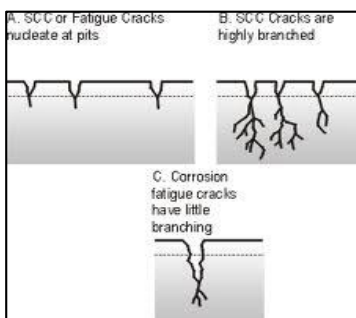


**Gambar 2.4** Korosi Erosi (Fontana,1986)

Pada gambar 2.5 merupakan mekanisme korosi erosi yang pada prinsipnya hampir sama dengan korosi celah, salah satu factor pembentuk korosi erosi adalah laju aliran fluida pada pipa. Hal ini sering ditemui pada *internal* pipa.

#### **2.4.6 Korosi Retak Tegang (*Stress Corrosion Cracking*)**

Korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*), korosi retak lelah (*corrosion fatigue cracking*) dan korosi akibat pengaruh hidrogen (*corrosion induced hydrogen*) adalah bentuk korosi dimana material mengalami keretakan akibat pengaruh lingkungannya. terhadap nitrat. Korosi retak lelah terjadi akibat tegangan berulang dilingkungan korosif. (Fontana,1986)



**Gambar 2.5** Korosi SCC (Fontana,1986)



---

## **2.5 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Korosi**

Beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi proses korosi secara umum antara lain, yaitu :

### **1. Temperatur**

Kenaikan temperatur akan menyebabkan bertambahnya kecepatan reaksi korosi. Hal ini terjadi karena makin tinggi suhu maka energi kinetik dari partikel-partikel yang bereaksi akan meningkat sehingga melampaui besarnya harga energi aktivasi dan akibatnya laju kecepatan reaksi (korosi) juga akan makin cepat, begitu juga sebaliknya. (Fogler, 1992)

### **2. Kecepatan Alir Fluida Atau Kecepatan Pengadukan**

Laju korosi cenderung bertambah jika laju atau kecepatan aliran fluida bertambah besar. Hal ini karena kontak antara zat pereaksi dan logam akan semakin besar sehingga ion-ion logam akan makin banyak yang lepas sehingga logam akan mengalami kerapuhan (korosi). (Kirk Othmer, 1965)

### **3. Konsentrasi Bahan Korosif**

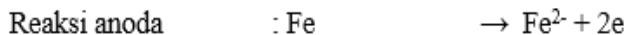
Hal ini berhubungan dengan pH atau keasaman dan kebasaaan suatu larutan. Larutan yang bersifat asam sangat korosif terhadap logam dimana logam yang berada didalam media larutan asam akan lebih cepat terkorosi karena merupakan reaksi anoda. Sedangkan larutan yang bersifat basa dapat menyebabkan korosi pada reaksi katodanya karena reaksi katoda selalu serentak dengan reaksi anoda. (Djaprie, 1995)

### **4. Oksigen**

Adanya oksigen yang terdapat di dalam udara dapat bersentuhan dengan permukaan logam yang lembab. Sehingga kemungkinan menjadi korosi lebih besar. Di dalam air (lingkungan terbuka), adanya oksigen menyebabkan korosi Untuk tekanan 1 atm dan temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm dan kelarutannya akan berkurang dengan bertambahnya temperatur dan konsentrasi garam. Sedangkan kandungan oksigen dalam



kandungan minyak-air yang dapat menghambat timbulnya korosi adalah 0,05 ppm atau kurang. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen (Djaprie,1995)



## 2.6 Laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan degradasi material terhadap waktu. Pengukuran laju korosi (*corrosion rate*) secara eksperimen dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu:

1. Metode pengukuran kehilangan berat (*weight loss*)
2. Metode elektrokimia (*tafel potensiostat*)
3. Metode Salt Spray
4. Metode *Coupon test*

Pada metode pengukuran kehilangan berat (*weight loss*), besarnya korosi dinyatakan sebagai besarnya kehilangan berat kupon logam yang diuji per satuan luas permukaan persatuan waktu. Secara matematis dirumuskan sebagai berikut (Yusuf, 2008)

$$\text{CR} = \frac{87,6 W}{DAT} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

- CR = Laju korosi (mm/year)  
D = Densitas (gram/cm<sup>3</sup>)  
W = Berat yang hilang (gram)  
A = Luas permukaan (cm<sup>2</sup>)  
T = Waktu (jam)

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Dalam perhitungan laju korosi, satuan yang biasa digunakan adalah mm/th (standar internasional) atau mill/year (mpy, standar British). Tingkat ketahanan suatu material terhadap korosi umumnya memiliki nilai laju korosi antara 1 – 200 mpy. Tabel di bawah ini adalah penggolongan tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosinya.

**Tabel 2.1** Tingkat Ketahanan Korosi berdasarkan Laju Korosi

Relative Corrosion resistance	Approximate Metric Equivalent				
	mpy	mm/year	µm/yr	nm/yr	pm/sec
Outstanding	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1 - 5	0.02 - 0.1	25 - 100	2 - 10	1 - 5
Good	5 - 20	0.1 - 0.5	100 - 500	10 - 50	5 - 20
Fair	20 - 50	0.5 - 1	500 - 1000	50 - 100	20 - 50
Poor	50 - 200	1 - 20	1000 - 5000	150 - 500	50 - 200
Unacceptable	200+	20+	5000+	500+	200+

Pada tabel 2.1 diklasifikasikan laju korosi dengan tingkat yang berbeda-beda. Dimulai dari resistansi korosi dengan tingkat outstanding hingga unacceptable yang terparah dalam terjadinya proses korosi. metode ini mengukur laju korosi pada saat diukur saja dimana memperkirakan laju tersebut dengan waktu yang panjang. Kelebihan metode ini adalah kita langsung dapat mengetahui laju korosi pada saat di ukur, hingga waktu pengukuran tidak memakan waktu yang lama. Pengujian laju korosi dengan metode elektrokimia dengan polarisasi dari potensial korosi bebasnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang didasari pada Hukum Faraday seperti di bawah ini :

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



$$CPR = K \frac{a \cdot i}{n \cdot D} \text{ mmpy} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

K = Konstanta ( 0,129 untuk mpy, 0,00327 untuk mmpy )

a = Berat atom logam terkorosi (gram)

i = Kerapatan arus (  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  )

n = Jumlah elektron valensi logam terkorosi

D = Densitas logam terkorosi (gram/ $\text{cm}^3$  )

(Kurniawan, 2014)

## 2.7 Pencegahan Korosi

Korosi logam tidak dapat dicegah, tetapi dapat dikendalikan seminimal mungkin. Ada tiga metode umum untuk mengendalikan korosi, yaitu pelapisan (*coating*), proteksi katodik, dan penambahan zat inhibitor korosi.

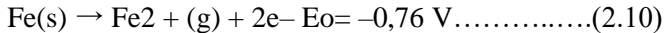
### 1. Pengendalian Korosi dengan Metode Pelapisan (*Coating*)

Metode pelapisan atau coating adalah suatu upaya mengendalikan korosi dengan menerapkan suatu lapisan pada permukaan logam besi. Misalnya, dengan pengecatan atau penyepuhan logam. Penyepuhan besi biasanya menggunakan logam krom atau timah. Kedua logam ini dapat membentuk lapisan oksida yang tahan terhadap karat (pasivasi) sehingga besi terlindung dari korosi. Pasivasi adalah pembentukan lapisan film permukaan dari oksida logam hasil oksidasi yang tahan terhadap korosi sehingga dapat mencegah korosi lebih lanjut. Logam seng juga digunakan untuk melapisi besi (galvanisir), tetapi seng tidak membentuk lapisan oksida seperti pada krom atau timah, melainkan berkorban demi besi. Seng adalah logam yang lebih reaktif dari besi, seperti dapat dilihat dari potensial setengah reaksi oksidasinya



---

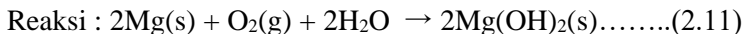
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Oleh karena itu, seng akan terkorosi terlebih dahulu daripada besi. Jika pelapis seng habis maka besi akan terkorosi bahkan lebih cepat dari keadaan normal (tanpa seng). Paduan logam juga merupakan metode untuk mengendalikan korosi. Baja stainless steel terdiri atas baja karbon yang mengandung sejumlah kecil krom dan nikel. Kedua logam tersebut membentuk lapisan oksida yang mengubah potensial reduksi baja menyerupai sifat logam mulia sehingga tidak terkorosi.

## 2. Pengendalian Korosi dengan Proteksi Katodik

Proteksi katodik adalah metode yang sering diterapkan untuk mengendalikan korosi besi yang dipendam dalam tanah, seperti pipa ledeng, pipa Pertamina, dan tanki penyimpanan BBM. Logam reaktif seperti magnesium dihubungkan dengan pipa besi. Oleh karena logam Mg merupakan reduktor yang lebih reaktif dari besi, Mg akan teroksidasi terlebih dahulu. Jika semua logam Mg sudah menjadi oksida maka besi akan terkorosi.



Oleh sebab itu, logam magnesium harus selalu diganti dengan yang baru dan selalu diperiksa agar jangan sampai habis karena berubah menjadi hidroksidanya.

## 3. Pengendalian Korosi dengan Penambahan Inhibitor

Inhibitor adalah zat kimia yang ditambahkan ke dalam suatu lingkungan korosif dengan kadar sangat kecil (ukuran ppm) guna mengendalikan korosi. Inhibitor korosi dapat dikelompokkan berdasarkan mekanisme pengendaliannya, yaitu inhibitor anodik, inhibitor katodik, inhibitor campuran, dan inhibitor teradsorpsi. Pemakaian inhibitor dalam suatu sistem tertutup atau sistem resirkulasi, pada umumnya hanya dipakai sebanyak 0.1% berat.

(Halimatuddah, 2003)



## 2.8 Proteksi Katodik

Proteksi katodik merupakan salah satu metoda pengendalian korosi struktur baja dalam lingkungan elektrolit dengan cara memperlakukan struktur logam sebagai katoda. Metoda ini dilakukan dengan jalan mengalirkan arus listrik searah melalui elektrolit ke logam sehingga potensial antarmuka logam-larutan elektrolit turun menuju/mencapai daerah immunnnya atau sampai nilai tertentu sehingga laju korosi logam masih diperbolehkan/minimum. Sistem proteksi katodik ini biasanya digunakan untuk melindungi baja, jalur pipa, tangki, tiang pancang, kapal, anjungan lepas pantai dan casing (selubung) sumur minyak di darat. Sumber arus listrik searah dapat diperoleh dengan dua cara yaitu : arus listrik searah diperoleh dari sumber luar disebut metoda arus yang dipaksakan (*impressed current*), dan cara kedua arus listrik searah diperoleh dari reaksi galvanik disebut metoda anoda tumbal (*sacrificial anode*).

Proteksi katodik digunakan untuk mengendalikan korosi pada permukaan logam. Proses yang dilakukan biasanya berupa reaksi elektrokimia dimana logam yang dilindungi akan bertindak sebagai katoda. Arus mengalir berasal dari anoda melalui sel elektrolit menuju ke katoda. Sehingga kemampuan proteksi terhadap katoda dapat dicapai dengan mengalirkan arus listrik tersebut. (Peabody, 2001)

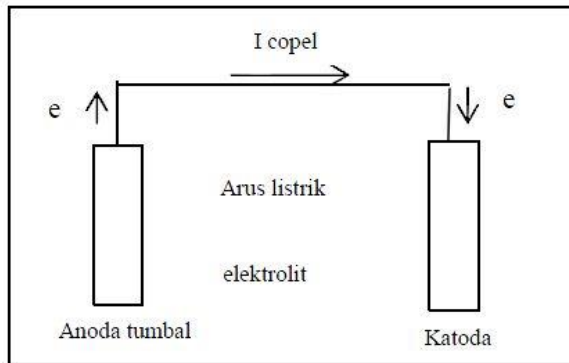
### 2.8.1 Proteksi Katodik Anoda Korban (*Sacrificial Anode Cathodic Protection*)

Sistem ini dikenal juga dengan galvanic anode, di mana cara kerja dan sumber arus yang digunakan berasal hanya dari reaksi galvanis anoda itu sendiri. Prinsip dasar dari sistem anoda korban adalah hanya dengan cara menciptakan sel elektrokimia galvanic dimana dua logam yang berbeda dihubungkan secara elektrik dan ditanam dalam elektrolit alam (tanah atau air). Dalam sel logam yang berbeda tersebut, logam yang lebih tinggi dalam seri elektromotif-Emf series (lebih aktif) akan menjadi anodic terhadap logam yang kurang aktif dan terkonsumsi selama reaksi

---



elektrokimia. Logam yang kurang aktif menerima proteksi katodik pada permukaannya karena adanya aliran arus melalui elektrolit dari logam yang anodik.



**Gambar 2.6** Rangkaian Proteksi Katodik Anoda Tumbal

Pada gambar 2.7 merupakan rangkaian SACP (*Sacrificial Anode Cathodic Protection*) yaitu salah satu metode proteksi katodik yang memanfaatkan sistem sel galvanik.

Sistem anoda korban secara umum digunakan untuk melindungi struktur dimana kebutuhan arus proteksinya kecil dan resistivitas tanah rendah. Di samping itu sistem ini juga digunakan untuk keperluan dan kondisi yang lebih spesifik seperti:

1. Untuk memproteksi struktur dimana sumber listrik tidak tersedia.
2. Memproteksi struktur yang kebutuhan arusnya relatif kecil, yang jika ditinjau dari segi ekonomi akan lebih menguntungkan dibandingkan dengan sistem arus tanding.
3. Memproteksi pada daerah hot spot yang tidak dicoating, misalnya pada daerah dimana ada indikasi aktifitas korosi yang cukup tinggi.
4. Untuk mensuplemen sistem arus tanding, jika dipandang arus proteksi yang ada kurang memadai. Ini biasanya





- terjadi pada daerah yang resistivitas tanahnya rendah seperti daerah rawa.
5. Untuk mengurangi efek interferensi yang disebabkan oleh sistem arus tanding atau sumber arus searah lainnya.
  6. Untuk memproteksi pipa yang dicoating dengan baik, sehingga kebutuhan arus proteksi relatif kecil.
  7. Untuk memperoteksi pipa bawah laut, yang biasanya menggunakan bracelet anode dengan cara ditempelkan pada pipa yang di *coating*.

Ada beberapa keuntungan yang diperoleh jika menggunakan SACP yaitu :

1. Tidak memerlukan arus tambahan dari luar, karena arus proteksi berasal dari anodanya itu sendiri.
2. Pemasangan dilapangan relatif lebih sederhana.
3. Perawatannya mudah.
4. Ditinjau dari segi biaya, sistem ini lebih murah dibanding sistem arus tanding.
5. Kemungkinan menimbulkan efek interferensi kecil.
6. Kebutuhan material untuk sitem anoda korban relatif sedikit yaitu anoda, kabel dan *test box*.

Kelemahan proteksi katodik dengan anoda korban dibandingkan dengan sistem arus tanding adalah driving voltage dari sistem ini relatif rendah karena arus proteksi hanya terjadi dari reaksi galvanis material itu sendiri sehingga sistem ini hanya dapat digunakan untuk memproteksi struktur yang arus proteksinya relatif kecil dan resistivitas lingkungan rendah. Karena kondisi yang demikian itu, sistem ini akan menjadi kurang ekonomis jika dipakai untuk keperluan memproteksi struktur yang relatif besar. Kemampuan untuk mengontrol variabel efek arus sesat terhadap struktur yang diproteksi relatif kecil. (Peabody,2001)

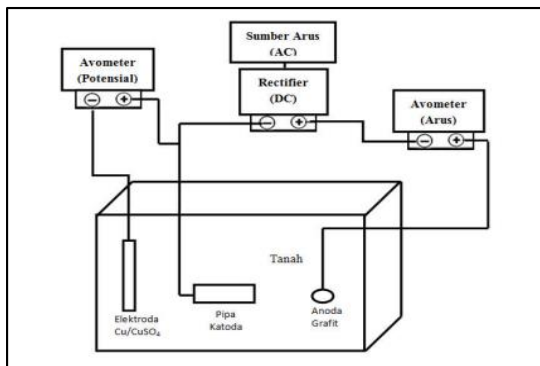


---

### 2.8.2 Proteksi Katodik Arus Paksa

Berbeda dengan sistem anoda korban, sumber arus pada sistem arus tanding berasal dari luar, biasanya berasal dari DC dan AC yang dilengkapi dengan penyearah arus (*rectifier*), dimana kutub negatif dihubungkan ke struktur yang dilindungi dan kutub positif dihubungkan ke anoda. Arus mengalir dari anoda melalui elektrolit ke permukaan struktur, kemudian mengalir sepanjang struktur dan kembali ke *rectifier* melalui konduktor listrik. Karena struktur menerima arus dari elektrolit, maka struktur menjadi terproteksi. Keluaran (*output*) arus *rectifier* diatur untuk mengalirkan arus yang cukup sehingga dapat mencegah arus korosi yang akan meninggalkan daerah anoda pada struktur yang dilindungi. Dengan keluaran arus dari anoda ini maka anoda tersebut terkonsumsi. Untuk itu maka sebaiknya menggunakan bahan yang laju konsumsinya lebih rendah dari magnesium, zinc dan aluminium yang biasa dipakai untuk sistem tersebut, umumnya digunakan paduan kombinasi bahan yang khusus.

Sistem arus tanding digunakan untuk melindungi struktur yang besar atau yang membutuhkan arus proteksi yang lebih besar dan dipandang kurang ekonomis jika menggunakan anoda korban. Sistem ini dapat dipakai untuk melindungi struktur baik yang tidak dicoating, kondisi coating yang kurang baik maupun yang kondisi *coating*nya baik. Kelebihan sistem arus tanding adalah dapat didesain untuk aplikasi dengan tingkat fleksibilitas yang tinggi karena mempunyai rentang kapasitas output arus yang luas. Artinya kebutuhan arus dapat diatur baik secara manual maupun secara otomatis dengan merubah tegangan output sesuai dengan kebutuhan. Kelebihan lain dari sistem ini, dengan hanya memasang sistem di salah satu tempat dapat memproteksi struktur yang cukup besar. Proteksi katodik arus paksa sering digunakan dalam industri lingkup besar karena dalam metode ini bisa dikontrol dengan cangkupan yang sangat luas dan dibandingkan dengan metode anoda korban relative lebih murah baik dari preparasi, aplikasi, maupun penerapan dalam cangkupan yang besar.



**Gambar 2.7** Rangkaian Proteksi Katodik Arus Paksa (Rohmannudin,2016)

Pada gambar 2.8 merupakan rangkaian proteksi katodika arus paksa dimana terdapat katoda yang diproteksi, anoda inert, dan juga *power supply* yang bertugas mensuplai arus. Kekurangan dari sistem ini yaitu memerlukan perawatan yang lebih banyak dibanding sistem anoda korban sehingga biaya operasional akan bertambah. Sistem ini juga mempunyai ketergantungan terhadap kehandalan pemasok energi (*rectifier*) sehingga kerusakan pada sistem ini akan berakibat fatal terhadap kinerja sistem proteksi. Kekurangan yang lain sistem arus tanding adalah cenderung lebih mahal karena peralatan dan bahan yang digunakan lebih banyak. Di samping itu ada kemungkinan dapat menimbulkan masalah efek interferensi arus terhadap struktur di sekitarnya. (Peabody,2001)

## 2.9 Anoda

Anoda adalah elektrode negatif, bisa berupa logam maupun penghantar listrik lain, pada sel elektrokimia yang terpolarisasi jika arus listrik mengalir ke dalamnya. Arus listrik mengalir berlawanan dengan arah pergerakan elektron. Pada proses elektrokimia, baik sel galvanik (baterai) lithium ion maupun sel elektrolisis, anode mengalami oksidasi. Pada sistem arus paksa disamping anoda sebagai sumber elektron juga dibutuhkan sumber arus seperti rectifier yang dihubungkan dengan

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



anoda. Pada metode arus paksa, anoda tidak dipilih dari logam dengan potensial elektrode lebih negatif dari logam yang dilindungi, tetapi justru dipilih dari logam mulia. Meskipun potensial elektrode anoda tersebut lebih besar daripada pipa baja, elektron tetap mengalir dari anoda menuju pipa karena dipaksa oleh arus searah (DC) yang diperoleh dari *transformator rectifier*. Dengan demikian suatu struktur yang memiliki luasan besar dapat dilindungi oleh sebuah anoda tunggal dan karena tegangan dorong yang dimiliki tinggi, anoda dapat ditempatkan jauh dari struktur. Anoda untuk metode arus paksa umumnya diklasifikasikan ke dalam tiga tipe:

1. Anoda tipe aktif (terkonsumsi cepat) : besi atau baja
2. Anoda semi-pasif (semi-terkonsumsi) : grafit, timbal, besi-silikon
3. Anoda pasif sempurna (tidak terkonsumsi) : terbuat dari platina

**Tabel 2. 2** Jenis dan Spesifikasi Anoda

<b>Material Anoda</b>	<b>Aplikasi Khusus</b>	<b>Typical Loss (Lb/ A.Y)</b>
<b>Scrap Steel</b>	Tanah, air tawar/ laut	20
<b>Aluminium</b>	Tanah, air tawar/ laut	10-12
<b>Grafit</b>	Tanah, air tawar/laut	0.25-5.0
<b>High Silicon Iron dan Si-Cr Iron</b>	Tanah, air tawar/ laut	0.25-5.0
<b>Timah</b>	Air laut	0.1-0.25
<b>Platinum dan Titanium</b>	Air laut	Kosong

(Supomo, 1995)



## 2.10 Elektroda Referensi

Berdasarkan standard NACE, yang dimaksud dengan elektroda referensi adalah:

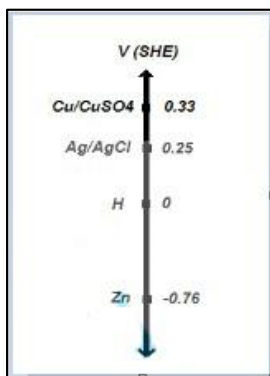
*"An electrode whose open-circuit potential is constant under similar conditions of measurement, which is used for measuring the relative potential of other electrodes"*

Jadi elektroda referensi adalah elektroda yang memiliki potensial saat rangkaian terbuka (potensial material itu sendiri) yang stabil sehingga digunakan untuk mengukur potensial relative antara elektroda lain terhadap referensi tersebut. Elektroda yang sering digunakan sebagai referensi adalah:

- Cu/CuSO<sub>4</sub> (CSE)
- Ag/AgCl
- Hg/Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>
- Hidrogen (SHE)

Hidrogen digunakan sebagai standard dengan potensial 0 volt. Maka potensial elektroda referensi lain terhadap hidrogen adalah sebagai berikut:

- Cu/CuSO<sub>4</sub> : 0.33 V (SHE)
- Ag/AgCl : 0.25 mV (SHE)
- Hg/Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> : 0.24 V (SHE)
- Hidrogen : 0 V



**Gambar 2.8** Potensial Elektroda referensi terhadap SHE



Berdasarkan gambar 2.9 tertera referensi SHE dan SCE. Tiap elektroda referensi digunakan sesuai dengan aplikasi yang berbeda-beda:

- Cu/CuSO<sub>4</sub> umum digunakan untuk di tanah, beberapa menggunakannya di laut. CSE lebih banyak digunakan karena memiliki karakteristik sangat stabil.
- Ag/AgCl umum digunakan untuk lingkungan air laut.
- Hg/HgCl<sub>2</sub> umumnya digunakan untuk lingkungan mengandung klorida, tapi lebih merupakan untuk aplikasi laboratorium

(Trethewey, 1991)

## 2.11 Potensial Proteksi

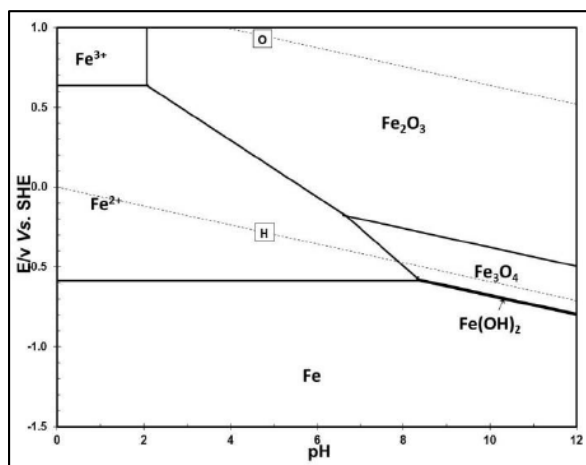
Kriteria potensial proteksi katodik -850 mV atau disebut juga on potensial sudah menjadi perdebatan bertahun – tahun antara para engineer dan industriawan di bidang korosi. Kriteria ini terus berubah hingga akhirnya NACE mengeluarkan Standard Practice NACE SP 0169 pada tahun 2007 yang mengakomodir 3 nilai kriteria potensial proteksi katodik. Nilai kriteria potensial proteksi katodik “*on Potential*” -850 mV diperkenalkan oleh Robert J. Kuhn pada sebuah paper tahun 1933 berdasarkan pengalamannya melakukan sebuah rangkaian instalasi proteksi katodik untuk pipa air di New Orleans Amerika Serikat pada tahun 1920. Judul paper tersebut adalah “*Cathodic Protection of Underground Pipe Lines from Soil Corrosion*”. Nilai -850 mV untuk pipa air di daerah New Orleans masuk akal melihat kondisi air tanah yang berlimpah oleh karena itu potensial proteksi pada setiap tempat memiliki perbedaan yang signifikan.

Penelitian mengenai potensial proteksi juga dilakukan oleh Pourbaix pada tahun 1974 dalam jurnalnya yang berjudul “*Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions*” Penelitian beliau mengenai korelasi antara pH dan nilai potensial proteksi. Berdasarkan persamaan Nerst, Pourbaix membuat grafik mengenai hubungan antara pH dan potensial proteksi katodik. (Zaki, 2006)



## 2.12 Diagram Pourbaix

Diagram Pourbaix adalah diagram yang dapat menunjukkan suatu reaksi korosi yang terjadi secara termodinamika, atau dapat dikenal juga dengan diagram kesetimbangan E-pH. Diagram ini disusun berdasarkan kesetimbangan termodinamika antara logam dengan air dan dapat menunjukkan kestabilan dari beberapa fasa secara termodinamika.



**Gambar 2.9** Diagram Pourbaix (Jing Ning, 2014)

Pada gambar 2.10 merupakan diagram pourbaix. Diagram ini sangat berguna untuk memprediksi reaksi dan produk korosi dari suatu material pada lingkungan dengan derajat keasaman tertentu. Dalam suatu diagram pourbaix, keadaan suatu logam terbagi 3, yaitu:

1. Imun. Daerah dimana logam berada dalam keadaan aman dan terlindungi dari peristiwa korosi.
2. Passive. Daerah dimana logam akan membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan dan terlindung dari peristiwa korosi.
3. Corrosion. Daerah dimana logam akan mengalami peristiwa korosi



### 2.13 Overprotection

Perlindungan berlebih pada struktur baja biasanya tidak berbahaya, hanya meningkatkan laju konsumsi anoda dan penggunaan daya listrik secara percuma. Pada tingkat yang berlebih menyebabkan terjadinya *coating disbondment* dan *hydrogen embrittlement* (perapuhan hydrogen), terutama pada material High Strength Steel. (Uhlig, 1985)

#### 1. *Coating disbondment*

Potensial proteksi katodik berlebih menghasilkan gas hydrogen. Mekanisme demikian disebut *hydrogen over-voltage potensial*. Proses ini terbentuk ketika potensial polarisasi mencapai -1,12 volt (instant off) terhadap electrode referensi Cu/CuSO<sub>4</sub>. Gas yang terbentuk sering terperangkap di Antara lapis lindung dengan permukaan logam dan dapat menyebabkan *blistering* atau *disbanding* pada lapis lindung. Selanjutnya elektrolit mengisi kesenjangan Antara lapis lindung selaku penyekat listrik mengakibatkan arus proteksi tidak dapat menjangkau luasan yang terpengaruh.

#### 2. *Hydrogen embrittlement*

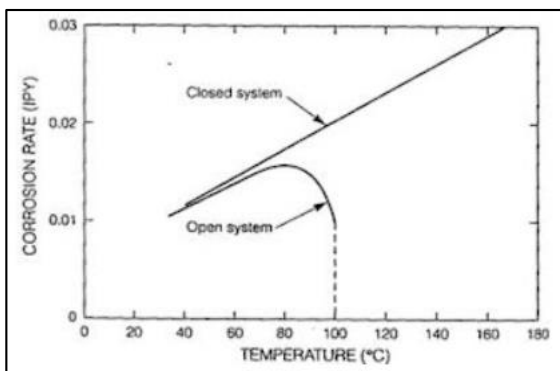
Hydrogen juga dapat dihasilkan dari arus proteksi berlebih yang mengakibatkan menurunnya keuletan baja. Penyerapan ion-ion hidroksil oleh permukaan logam terjadi melalui proses difusi atom-atom hydrogen yang sangat kecil ke dalam Kristal lattice logam atau paduan. Ikatan antar atomnya membentuk gas hidrogen, dimana gelembung-gelembung gas ini merupakan tekanan yang dahsyat. Tekanan yang tinggi akan memutuskan ikatan antar logam untuk menghasilkan *internal voids*. (US ACE, 1997)

### 2.14 Pengaruh Temperatur terhadap korosi

Pada lingkungan temperatur tinggi, laju korosi yang terjadi lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur rendah, karena pada temperatur tinggi kinetika reaksi kimia akan meningkat.



Gambar berikut menunjukkan pengaruh temperatur terhadap laju korosi pada Fe. Semakin tinggi temperatur, maka laju korosi akan semakin meningkat, namun menurunkan kelarutan oksigen. Sehingga pada suatu sistem terbuka, diatas suhu 80 C, laju korosi akan mengalami penurunan karena oksigen akan keluar sedangkan pada suatu sistem tertutup, laju korosi akan terus meningkat karena adanya oksigen yang terlarut. (Firdaus, 2012)



**Gambar 2.10** Diagram Laju Korosi & Temperatur (Firdaus,2012)

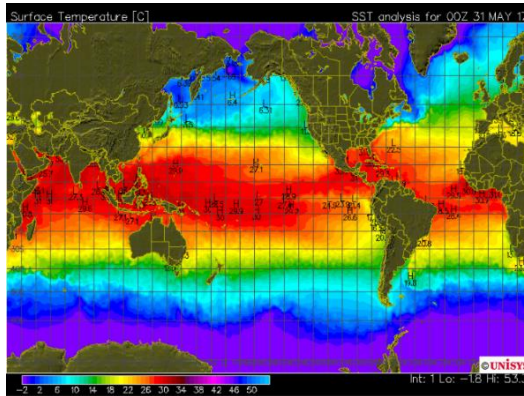
Pada gambar 2.11 tertera hubungan antara laju korosi dengan temperatur baik pada *closed system* dan *open system*. Hal ini merupakan salah faktor terhadap tingkat laju korosi pada sebuah metal. Temperatur sangat berpengaruh terhadap laju korosi. Diagram perbandingan antara temperatur dan laju korosi bisa dilihat pada diagram laju korosi dan temperatur.

## 2.15 Temperatur Air Laut

Temperatur air laut di bumi berkisar -2 °C hingga 38,7 °C mulai dari temperatur air laut di daerah kutub sampai air laut di daerah tropis (perairan dangkal). Temperatur air permukaan memperlihatkan kisaran yang amat luas sedangkan air laut dalam lebih stabil. Temperatur perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :



- a. Radiasi matahari
- b. Letak geografis
- c. Musim
- d. Kondisi awan
- e. Proses interaksi air dan udara
- f. Penguapan dan hembusan angin



**Gambar 2.11** Temperatur air laut di bumi ([www.geografi.id](http://www.geografi.id))

Pada gambar 2.12 terlihat peta yang merupakan persebaran temperatur air laut. Secara alamiah atau terbesar faktor yang mempengaruhi besarnya temperatur adalah faktor radiasi matahari di permukaan air laut. ([www.bmkg.go.id](http://www.bmkg.go.id))

## 2.16 Salinitas Air Laut

Air laut adalah air yang berasal dari laut, memiliki rasa asin, dan memiliki kadar garam (salinitas) yang tinggi. Rata-rata air laut di lautan dunia memiliki rentang salinitas sebesar 3% hingga 4%. Untuk salinitas tertinggi sebesar 4% terletak di laut mati. Kandungan garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut antara lain klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%), dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak,



strontium, dan florida. Keberadaan garam-garaman ini mempengaruhi sifat fisis air laut seperti densitas, kompresibilitas, dan titik beku (Homig, 1978). Air dengan salinitas tersebut tentu saja tidak dapat dikonsumsi dilihat dari standar kualitas air yang telah ditetapkan MENKES RI. Sumber-sumber garam yang ada dilaut berasal dari tiga hal yaitu gas-gas vulkanik, pelapukan batuan didarat, dan sirkulasi lubang-lubang hidrotermal pada air laut yang dalam. Sedangkan yang paling tawar adalah di timur Teluk Finlandia dan di utara Teluk Bothania, keduanya bagian dari laut baltik.

**Tabel 2.3 Kandungan Air Laut**

Elemen	Simbol	Ppm	Persentase
Oksigen	O <sub>2</sub>	883,000	86,0341%
Hidrogen	H	110,000	10,7177%
Klorin	Cl	19,400	1,8902%
Sodium	Na	10,800	1,0523%
Magnesium	Mg	1,290	0,1257%
Belerang	S	0,904	0,0881%
Kalsium	Ca	0,411	0,0400%
Kalium	K	0,392	0,0382%
Brom	Br	0,067	0,0066%
Karbon	C	0,028	0,0027%
Nitrogen	N	0,016	0,0015%

Pada tabel 2.3 tertera kandungan air laut yang dengan komposisi oksigen tertinggi. Air laut memiliki kadar garam rata – rata 3,5%, tetapi tidak semua air laut memiliki kadar garam yang sama setiap tempatnya. Namun jika dijelaskan secara rinci, air laut memiliki komposisi yang cukup banyak, komposisi dalam air laut yang memiliki persentase besar adalah oksigen, hydrogen, klorin, sodium dan sisanya hanya sedikit terkandung. Selain itu juga terdapat banyak kandungan gas-gas yang terlarut, bahan-bahan organik serta partikel tak larut. (Ramadhan, 2005)

---

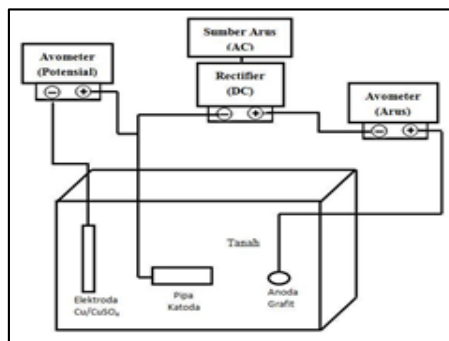
## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**



## 2.17 Penelitian Sebelumnya

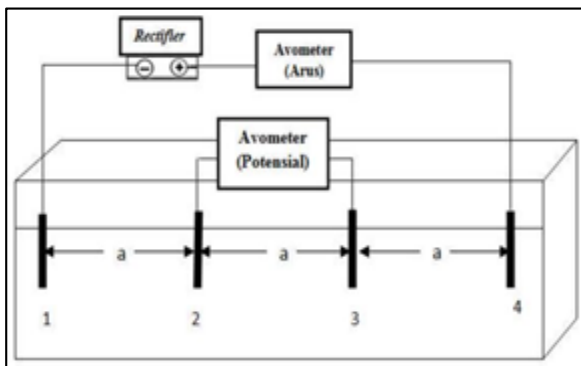
1. Pengaruh kadar air dan jenis tanah terhadap penyediaan arus sistem ICCP untuk proteksi korosi pipa baja

Penelitian yang dilakukan oleh Prof. Sulistjono, dkk. Mengenai pengaruh kadar air dan jenis tanah terhadap penyediaan arus system *ICCP* untuk proteksi korosi pipa baja ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh resistivitas dan kadar air tanah terhadap kebutuhan arus proteksi sistem *ICCP* pada material pipa API 5L Grade B sebagai katoda yang yang diberi variasi *coating* (*coating* seluruhnya, tanpa *coating* dan cacat gores berbentuk persegi dengan luas 500 mm<sup>2</sup>). Variasi kadar air adalah 0% (kondisi kering) dan 25%. Anoda menggunakan grafit, *rectifiernya* sebagai penyearah arus dan elektroda referensi Cu/CuSO<sub>4</sub> sebagai elektroda acuan.



**Gambar 2.12** Skema Rangkaian ICCP

Pada gambar 2.13 merupakan rangkaian ICCP. Pengukuran arus proteksi ini dilakukan selama 7 hari dengan pengambilan data setiap hari. Dari hasil penelitian terlihat bahwa dengan bertambahnya kadar air dalam tanah akan menyebabkan nilai resistivitas tanah menurun, karena bertambahnya jumlah air dalam tanah akan mempermudah aliran arus. Sedangkan dengan kadar air tanah yang tinggi nilai arus proteksi semakin meningkat karena air mempermudah ionisasi elektron dalam tanah sehingga mempermudah aliran arus.



**Gambar 2.13** Pengukuran Resistivitas Tanah

Pada gambar 2.14 dilakukan analisis awal pada penelitian untuk mengukur nilai resistivitas tanah dengan menggunakan metode wenner dengan kondisi tanah yang berbeda dan diberi perlakuan yang berbeda dengan memberi perbedaan kadar air. Kadar air yang diberikan adalah 0% dan 25%. Dari hasil pengujian tersebut diperoleh beberapa data untuk pengukuran nilai resistivitas yaitu nilai arus dan potensial. Berdasarkan data yang diperoleh tersebut didapatkan hasil nilai resistivitas setiap jenis tanah dengan kadar air yang berbeda. Dari hasil pengukuran didapatkan bahwa dalam jenis tanah yang sama, semakin besar nilai kadar air dalam tanah maka akan semakin rendah nilai resistivitasnya. Hal tersebut sesuai dengan Bai Wei (2013), yang mengatakan bahwa setiap peningkatan komposisi air di dalam tanah maka akan mempengaruhi konduktivitas dan resistivitas secara signifikan [8]. Hal tersebut karena air merupakan medium penghantar listrik yang akan mempermudah arus listrik untuk mengalir di dalam tanah sehingga dapat menurunkan daya hambat tanah atau resistivitas tanah terhadap aliran listrik.

Rangkaian ICCP dijalankan dengan mengatur kebutuhan arus sehingga potensial kerja benda berada pada kisaran -850 mV sampai -1000 mV dimana baja dapat terproteksi. Hasil pengukuran

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

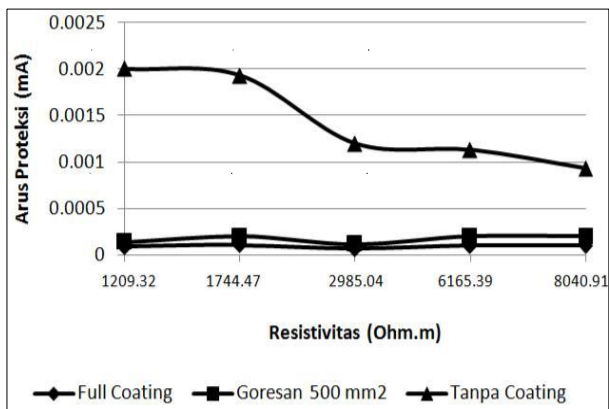


arus proteksi terhadap nilai resistivitas dan kadar air pada hari ke 7 dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan Gambar 2.11.

**Tabel 2.4** Nilai arus proteksi masing-masing resistivitas dengan kadar air 0%

Resistivitas (ohm.m)	Arus Proteksi Spesimen (A)		
	<i>Full</i>	Goresan	Tanpa
	<i>Coating</i>	500 mm <sup>2</sup>	<i>Coating</i>
1209,32	0,00009	0,000143	0,002
1744,47	0,00011	0,0002	0,00193
2985,04	0,00007	0,00012	0,0012
6165,39	0,0001	0,0002	0,00113
8040,91	0,000103	0,0002	0,0093

Berdasarkan data pada Tabel 2.4, arus yang dibutuhkan cenderung menurun dengan semakin tingginya nilai resistivitas tanah. Selain itu, dengan semakin besar luas goresan lapis lindung yang kontak langsung dengan lingkungan, maka akan semakin tinggi arus proteksi yang dibutuhkan. Hal tersebut terjadi karena adanya daerah pada permukaan logam yang terekspose ke lingkungan sehingga mengakibatkan terjadi reaksi oksidasi atau disebut juga dengan korosi.



**Gambar 2.14** Grafik perbandingan nilai arus proteksi dengan kadar air 0% .

Pada gambar 2.15 kebutuhan arus proteksi terlihat fluktuatif menurun pada pipa tanpa coating sedangkan pada pipa goresan dan full coating fluktuatif standar. Pasokan elektron dari *rectifier* berfungsi untuk menurunkan laju korosi. Oleh sebab itu, pipa dengan luas goresan lapis lindung yang besar membutuhkan arus proteksi yang besar juga karena arus proteksi berbanding lurus dengan laju korosi. Semakin besar laju korosi maka semakin besar juga arus yang dibutuhkan untuk mengendalikan laju korosi tersebut. Dari hasil pengukuran arus proteksi yang didapatkan pada hari ke tujuh, dapat dilihat bahwa dalam kadar air yang sama semakin rendah nilai resistivitas tanah maka semakin tinggi kebutuhan arus yang diberikan pada pipa.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengaruh dari resistivitas tanah yang semakin besar, akan menyebabkan kebutuhan arus proteksi yang semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan resistivitas dengan nilai yang tinggi memiliki tahanan yang tinggi pula (atau bersifat isolator) sehingga arus proteksi yang dibutuhkan kecil. Pengaruh kadar air yang semakin meningkat, maka kebutuhan arus proteksi akan semakin

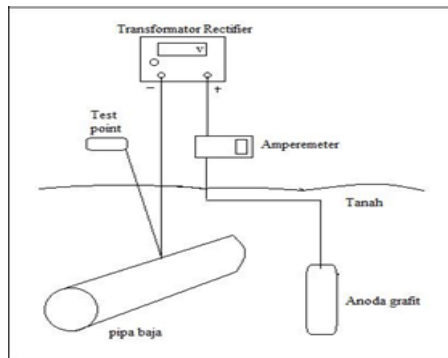
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



besar. Hal tersebut karena dengan bertambahnya jumlah kadar air dalam tanah akan mempermudah aliran arus karena air merupakan media penghantar listrik.

2. Perancangan Proteksi Arus Paksa pada Pipa Baja API 5L dengan coating dan tanpa coating di dalam tanah

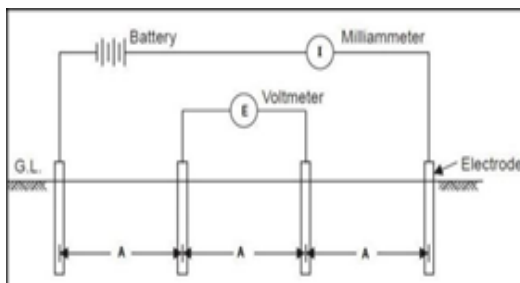
Pada penelitian yang dilakukan oleh Bapak Tubagus Noor R., Azmi Mahiri, dkk yaitu menggunakan protek katodik arus paksa dengan perlakuan coating dan tanpa coating. Proteksi katodik digunakan untuk mengendalikan korosi pada permukaan logam. Proses yang dilakukan biasanya berupa reaksi elektrokimia dimana logam yang dilindungi akan bertindak sebagai katoda. Arus mengalir berasal dari anoda melalui sel elektrolit menuju ke katoda. Sehingga kemampuan proteksi terhadap katodik dapat dicapai dengan mengalirkan arus listrik tersebut.



**Gambar 2.15** Rangkaian Proteksi Katodik Arus Paksa

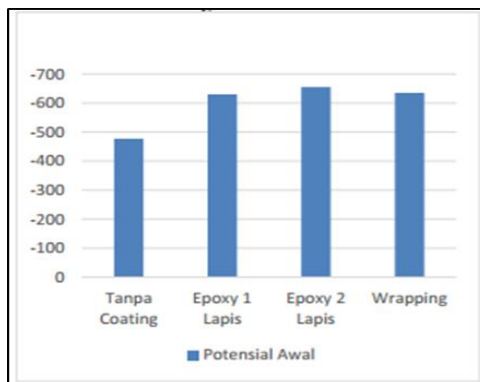
Pada gambar 2.16 merupakan rangkaian ICCP. Pengukuran resistivitas tanah dilakukan sebanyak empat kali dengan jarak dan kedalaman yang berbeda beda yaitu jarak (a1) 10 cm, kedalaman (d1) 200 cm, (a2) 20 cm (d2) 400 cm, (a3) 30 cm (d1) 30 cm, (a4) 40 cm (d4) 40 cm. pengukuran dengan jarak dan kedalaman yang berbeda bertujuan agar mengetahui resistivitas secara menyeluruh. Hasil tersebut dirata-rata untuk mengetahui nilai resistivitas tanah





**Gambar 2.16** Rangkaian Pengujian Resistivitas Tanah

Pada gambar 2.17 dilakukan analisis awal pada penelitian untuk mengukur nilai resistivitas tanah dengan menggunakan metode wenner. Pengukuran potensial awal dilakukan pada pipa sebelum instalasi ICCP dinyalakan. Hasil dari pengukuran arus dan potensial proteksi pipa adalah sebagai berikut

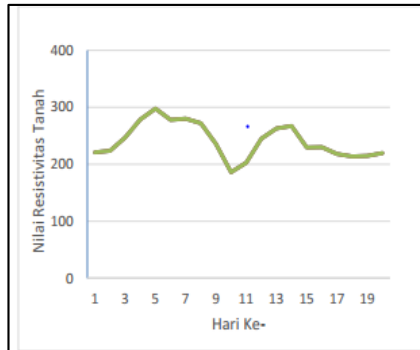


**Gambar 2. 17** Grafik Pengukuran Pontesial Awal

Pada gambar 2.18 dilakukan analisis setelah pengukuran dan dari data yang sudah didapat kemudian dirubah menjadi grafik agar mempermudah untuk menganalisa dan melakukan evaluasi. Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa pontesial pipa mengalami perbedaan.

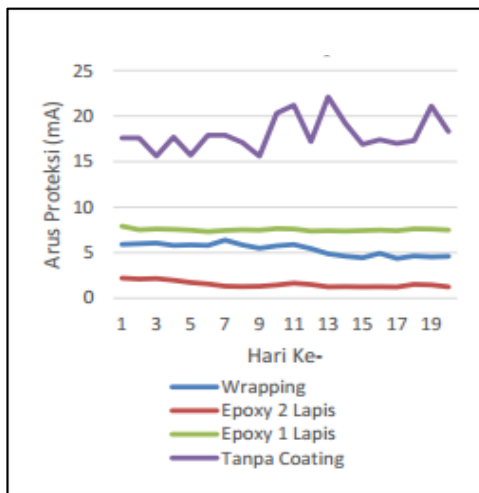
---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



**Gambar 2.18** Grafik Nilai Resistivitas Tanah

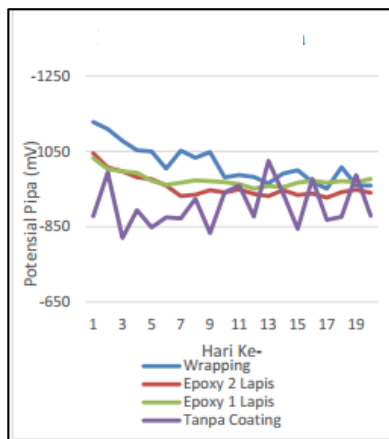
Pada gambar 2.19 dilakukan analisis setelah pengukuran dan dari data yang sudah didapat kemudian dirubah menjadi grafik nilai resistivitas tanah dimana selama 20 hari pengujian didapatkan resistivitas tanah yang fluktuatif disebabkan perubahan cuaca yang mengakibatkan tanah lembab atau kering.



**Gambar 2.19** Grafik Pengukuran Arus Proteksi



Pada gambar 2.10 merupakan grafik arus proteksi yang didapatkan untuk memproteksi pipa. Dimana pipa tanpa coating memiliki grafik arus proteksi yang fluktuatif naik dan turun sedangkan untuk pipa epoxy dan wrapping lebih normal.



**Gambar 2.20** Grafik Pengukuran Potensial Proteksi

Berdasarkan pada gambar 2.21 didapatkan rata-rata potensial proteksi yang beragam tetapi tetap pada rentang terproteksi. Pada hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengaruh dari resistivitas tanah yang semakin besar, akan menyebabkan kebutuhan arus proteksi yang semakin kecil, Hal tersebut dikarenakan resistivitas dengan nilai yang tinggi memiliki tahanan yang tinggi pula (atau bersifat isolator) sehingga arus proteksi yang dibutuhkan kecil. Pengaruh kadar air yang semakin meningkat, maka kebutuhan arus proteksi akan semakin besar. Hal tersebut karena dengan bertambahnya jumlah kadar air dalam tanah akan mempermudah aliran arus karena air merupakan media penghantar listrik.

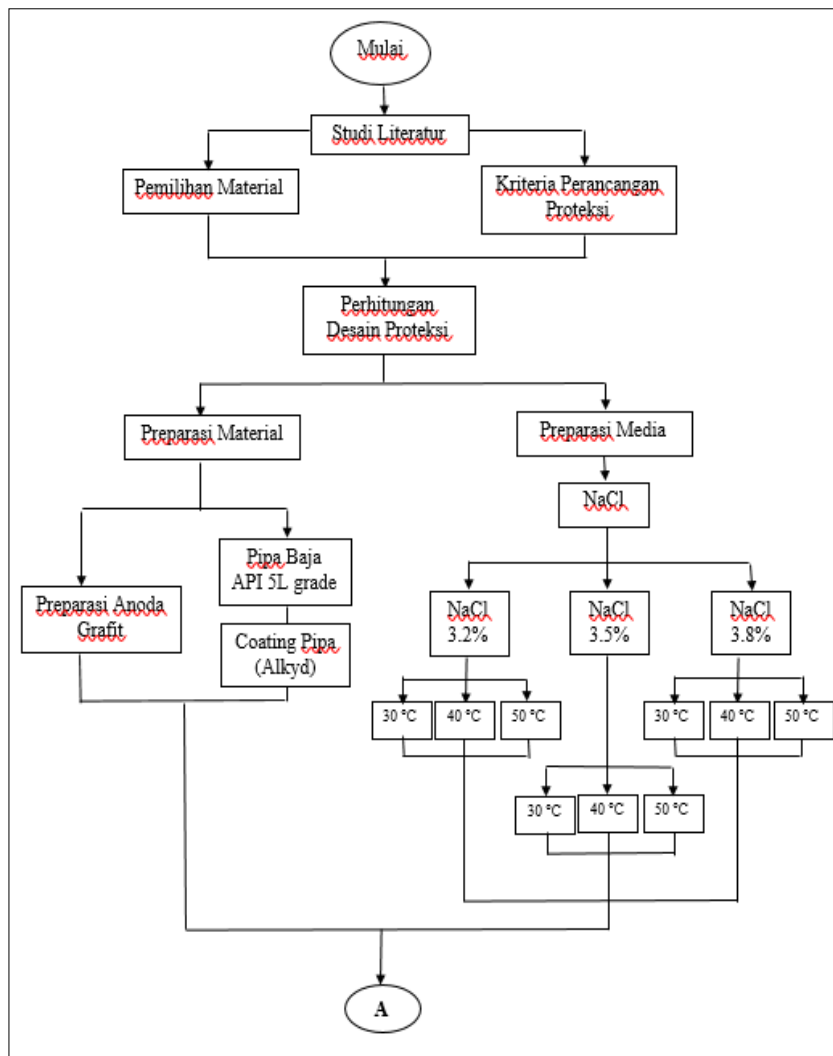


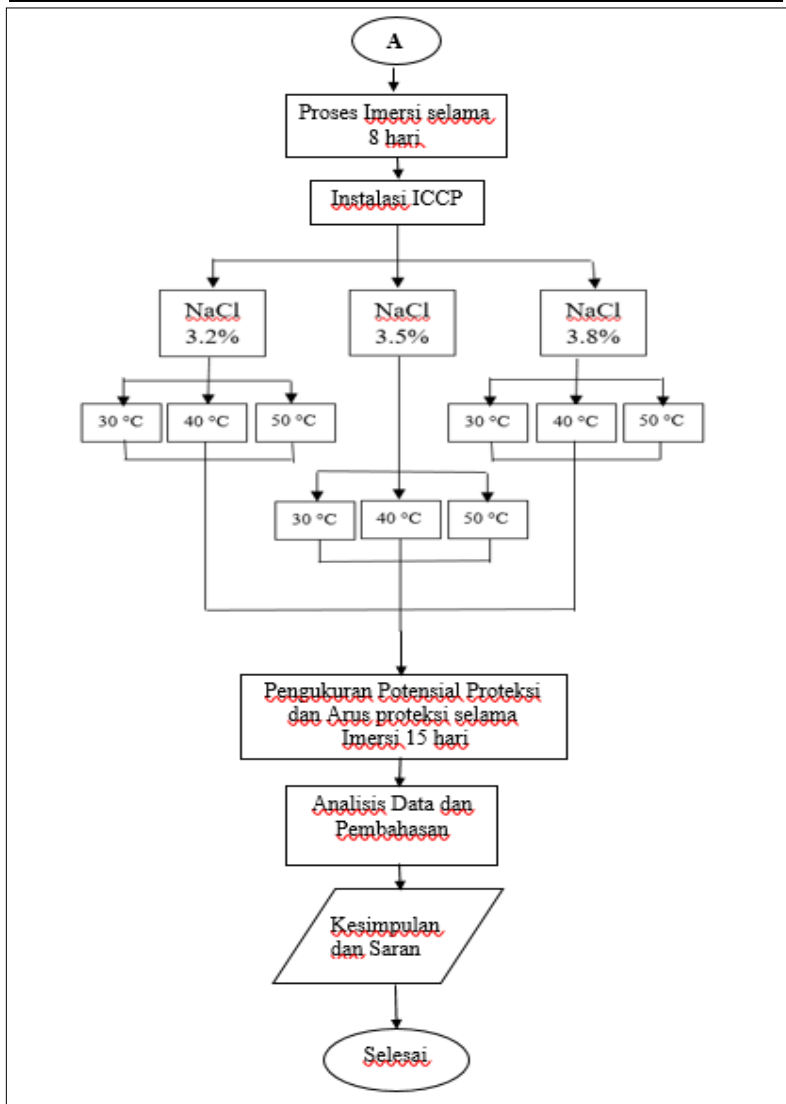
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian





**Gambar 3.1** Diagram Akir Penelitian

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN



### 3.2 Standar yang Digunakan

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti standar :

- NACE Standard TM-0169-95 *Laboratory Corrosion of Testing Metals*
- DNV-RP-B401 *Cathodic Protection Design*
- A. W. Peabody, *Control of Pipeline Corrosion (Second Edition)*, NACE International The Corrosion Society

### 3.3 Alat dan Bahan

#### 3.3.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada Perancangan Penelitian ini adalah :

1. Pipa Baja API 5L Grade B
2. Grafit
3. Lem PVC
4. Kawat
5. Kabel Tembaga
6. Tali
7. Isolasi
8. Serbuk NaCl
9. Aquades
10. Karet penutup pipa
11. Lem tembak (*glue stick*)
12. Lem besi (*dexton epoxy adhesive*)
13. Baut

#### 3.3.2 Alat

Peralatan yang digunakan pada Perancangan penelitian ini adalah :

1. Transformator Rectifier
2. Electrode Reference Ag/AgCl

---

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN



3. Multitester
4. Bor *Cordless*
5. Gergaji
6. Roll Meter
7. Heater Bar
8. Neraca *Mettler Toledo Analytical Balance*
9. Tang potong
10. *Glue gun*

### 3.4 Langkah Perancangan

Langkah-langkah yang digunakan untuk mendukung perancangan tersebut antara lain,

1. **Pengumpulan Data**

2. **Melakukan Kriteria Desain**

Kriteria Desain yang digunakan adalah

Umur desain : 1 tahun

Limit positif : -850 mV

Limit negatif : -1100 mV

Electrode Reference : Ag/AgCl (*Silver Chloride*)

3. **Desain Proteksi Katodik Arus Paksa**

Untuk mengetahui arus dan tegangan yang diperlukan.

Maka perhitungan diperlukan

berdasarkan buku Peabody, *Examples of design for cathodic protection* :

4. **Perhitungan Larutan NaCl**

Pada penelitian ini, spesimen berada pada 3 kondisi yang berbeda salinitas. Untuk memperoleh keadaan tersebut, perlu dilakukan perhitungan untuk masing-masing kondisi.



#### 4.1 Perhitungan 3.2% NaCl

- Melarutkan 746.78 gr NaCl kedalam 22.5 L Aquades dan mengaduk larutan hingga homogen

#### 4.2 Perhitungan 3.5% NaCl

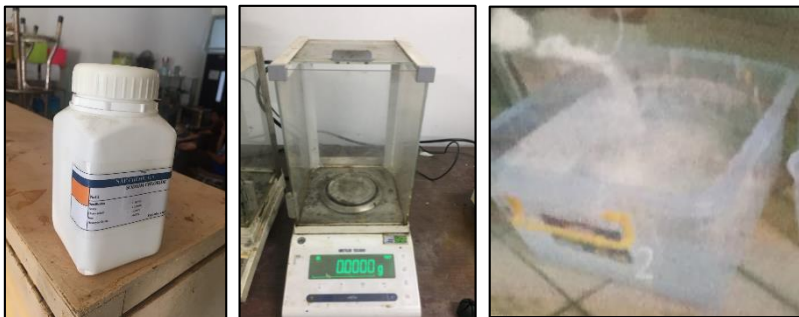
- Melarutkan 875.1 gr NaCl kedalam 22.5 L Aquades dan mengaduk larutan hingga homogen

#### 4.2 Perhitungan 3.8% NaCl

- Melarutkan 974.25 gr NaCl kedalam 22.5 L Aquades dan mengaduk larutan hingga homogen

#### 4.4 Pencampuran NaCl dengan Aquades

Setelah dilakukan perhitungan larutan yang dibutuhkan untuk setiap kondisi kerja pada penelitian ini maka dilakukan pengukuran jumlah NaCl dengan menggunakan timbangan digital ( neraca *Mettler Toledo Analytical Balance New*) dan aquades.



**Gambar 3.2** Langkah Pembuatan larutan NaCl

Berdasarkan pada gambar 3.2 dilakukan penimbangan serbuk NaCl untuk pembuatan larutan NaCl sebesar 3.2%, 3.5%, dan 3.8% dan pencampuran aquades hingga serbuk terlarut dalam aquades. Pencampuran serbuk NaCl dan Aquades dilakukan bertahap dan dilakukan secara hati-hati agar konsentrasi garam NaCl tidak terbuang dan mendapatkan larutan yang valid sesuai kadar yang diinginkan dalam larutan.

---

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN



## 5 Instalasi Peralatan

### 3.4.1 Preparasi Pipa

Pada penelitian ini akan digunakan 9 buah pipa. Berikut ini data pipa yang akan digunakan dalam perancangan ini :

- Material : Baja karbon rendah
- Spesifikasi : Spiral pipe Seamless  
API 5L grade B
- Panjang : 100 mm
- Diameter luar (OD) : 60 mm
- Tebal Pipa : 0.154" = 2 mm
- Diameter dalam : 0.054 m = 56 mm
- Tahanan jenis pipa :  $2.2 \times 10^{-7}$  ohm-cm

**Tabel 3. 1** Komposisi Baja API 5L grade B

C (max)	Mn (max)	P (max)	S (max)	Ti (max)	V (max)	Ni (max)
0.22 %	1.20 %	0.025 %	0.015 %	0.04 %	$\leq 0.15$ %	$\leq 0.15$ %



**Gambar 3.3** Penampang Pipa Baja API 5L grade B

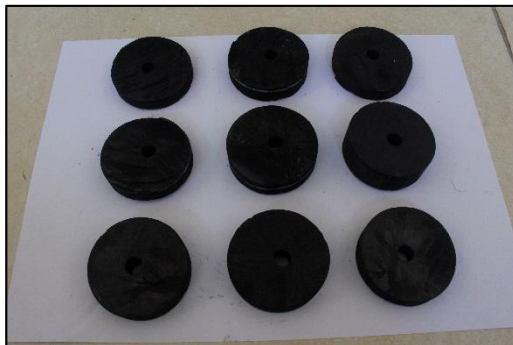


Setelah pipa dipotong sesuai dimensi seperti pada gambar 3.3, kemudian pipa juga dibersihkan dari pengotor yang menempel dan diberikan pengait kabel berupa lubang yang di bor di ujung pipa lalu yang nantinya ditutup dengan lem tembak agar pemasangan kabel menjadi lebih mudah.

#### 3.4.2 Preparasi Anoda

Berikut ini adalah dimensi anoda yang akan digunakan dalam perancangan ini :

- |            |   |
|------------|---|
| - Material | : Carbon Grafit                             |
| - Aplikasi | : Kondisi air laut                          |
| - Bentuk   | : Tubular                                   |
| - Dimensi  | : $p = 13 \text{ mm}$ ; $d = 35 \text{ mm}$ |



**Gambar 3.4** Penampang Anoda Grafit

Berdasarkan pada gambar 3.4 dimensi bagian atas dari anoda kemudian sedikit dilubangi sedalam 3 cm sebagai tempat sambungan kabel metalik. Lalu ditutup menggunakan lem besi. Lalu direkatkan hingga lem menjadi kering dan mengeras.

---

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**



#### 3.4.3 Pemasangan karet pada kedua ujung pipa

Karet direkatkan pada masing-masing ujung pipa menggunakan lem tembak. Hal ini dilakukan untuk menghindari kontak antara larutan dengan bagian dalam pipa.

#### 3.4.4 Kabel Metalik

Kabel metalik yang digunakan adalah kabel tembaga *Eterna* 2.5 mm<sup>2</sup> berstandar SNI sesuai gambar 3.5



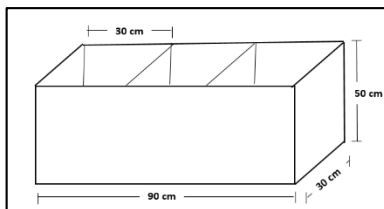
**Gambar 3.5** Kabel tembaga Eterna

#### 3.4.5 Perancangan Wadah Instalasi

Pada penelitian ini diperlukan wadah instalasi yang merupakan tempat percobaan berupa bak air berbahan *fiber* dengan jumlah sebanyak 3 buah bak dimana setiap bak memiliki ruang yang disekat sebanyak 3 buah untuk masing-masing pengkondisian larutan NaCl (3,2%, 3,5%, 3,8%). Berikut merupakan spesifikasi dimensi dan desain bak fiber tersebut :

Spesifikasi Box Container :

Panjang : 90 cm  
Lebar : 30 cm  
Tinggi : 50 cm  
Panjang sekat : 30 cm  
Jumlah bak : 3 buah



**Gambar 3.6** Skema Box Container



**Gambar 3.7** Penampang Box Container

Berdasarkan gambar 3.6 dan 3.7 terdapat skema box container yang akan digunakan sebagai wadah pengujian sistem proteksi katodik. Hal ini sangat diperlukan agar proses perancangan ICCP berjalan sesuai dengan standar yang dikehendaki.



#### 3.4.6 Suplai Arus & Pengujian Potensial Proteksi

Setelah pipa dan grafit terendam, rectifier dinyalakan untuk mensuplai arus hingga kedalam range terproteksi sebesar antara -850 mV hingga -1100 mV. Pengujian yang dilakukan adalah menguji apakah tegangan sistem proteksi tersebut sudah masuk kedalam area proteksi yaitu sekitar -850 mv sampai dengan -1100 mv dengan menggunakan elektroda Ag/AgCl. Setelah itu dilakukan pengamatan selama setiap hari dengan durasi waktu 15 hari pengujian berupa arus proteksi yang diberikan.



**Gambar 3.8** Cellkit Rectifier

Pada gambar 3.8 terlihat *power supply* dengan merk *Cellkit* yang merupakan sumber arus pada penelitian ini. Dimana rectifier ini dapat menyuplai arus dengan rentang 0 V – 7.5 V.



**Gambar 3.9** Elektroda Referen Kalomel

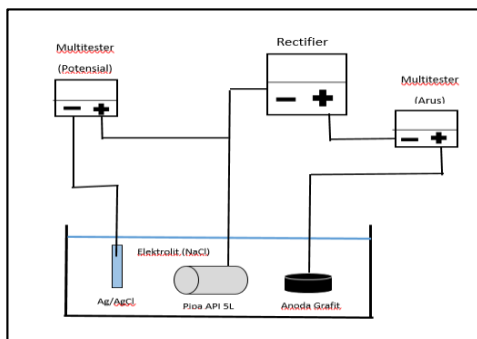


Pada gambar 3.9 merupakan elektroda referen kalomel ( $\text{Ag}/\text{AgCl}$ ) atau *silver chloride* dimana elektroda ini digunakan untuk sebagai acuan terhadap potensial proteksi yang akan didapat. Elektroda referen kalomel digunakan karena media yang digunakan berupa larutan.



**Gambar 3.10** Avometer/Multitester

Pada gambar 3.10 merupakan avometer/multitester yang digunakan sebagai penunjuk digital arus proteksi, potensial proteksi, dan juga hambatan jika diperlukan. Dibutuhkan 2 buah avometer dalam satu rangkaian dimana satu buah untuk pengukuran arus dan yang lain untuk pengukuran potensial.



**Gambar 3.11** Skema Pengukuran arus dan potensial proteksi pada rangkaian ICCP



Berdasarkan gambar 3.11 rancangan sistem proteksi katodik arus paksa (ICCP) secara umum dirangkai. Dimana terdapat beberapa elemen yaitu anoda, katoda, elektroda referen, rectifier, avometer, kabel metalik, dan juga media larutan.

#### 3.4.7 Pengkondisian spesimen dengan metode imersi 8 hari

Sebelum dilakukan instalasi percobaan ICCP untuk kemudian mengukur arus proteksi yang diberikan, terlebih dahulu spesimen katoda dikondisikan dalam media larutan NaCl di masing-masing salinitas (3.2%, 3.5%, 3.8%). Pengkondisian ini bertujuan untuk merusak lapisan pasif yang terbentuk pada permukaan pipa dan juga menstabilkan pipa dengan kondisi lingkungan.



**Gambar 3. 12** Pengukuran Potensial Pipa dengan Elektroda Referen Kalomel

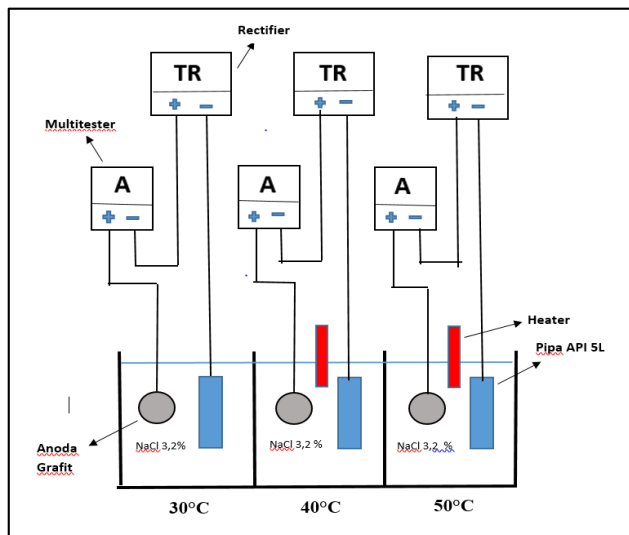
Sesuai pada gambar 3.12 dilakukan pengukuran potensial pipa dengan menggunakan elektroda kalomel. Pengkondisian dilakukan dengan cara imersi dalam media larutan NaCl selama 5 hari. Dari 3 variasi salinitas yang berbeda, masing-masing elektrolit ditempatkan dalam 3 bak *fiber* dengan diberikan tanda berupa *sticky note* untuk acuan pembeda.



### 3.4.8 Skema Rancangan Percobaan

Berikut merupakan skema untuk instalasi yang dilakukan sesuai dengan variabel yang digunakan yaitu berupa salinitas (3.2%, 3.5%, 3.8%) dan temperatur (30°C, 40°C, 50°C).

- a. Skema rancangan percobaan dengan variasi salinitas NaCl 3.2% di temperatur 30°C, 40°C, 50°C



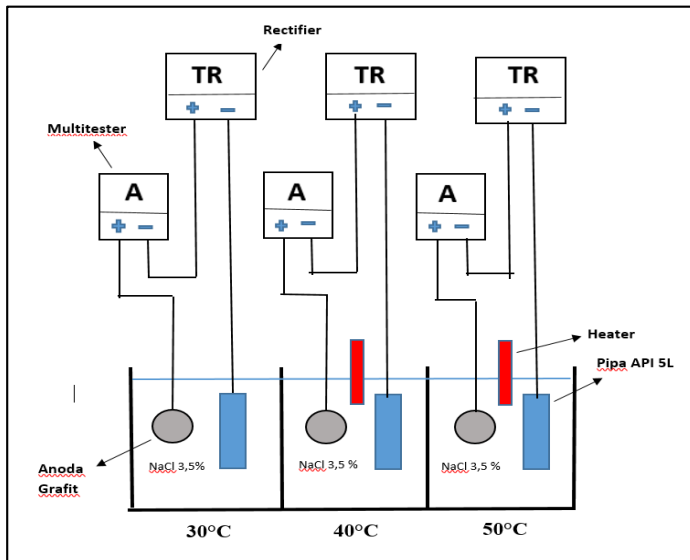
**Gambar 3.13** Rancangan percobaan pada salinitas NaCl 3.2%

Sesuai pada gambar 3.13 dilakukan perancangan sistem proteksi katodik arus paksa, pada wadah instalasi diberikan sekat 3 ruang untuk mengkondisikan tiap temperatur, dimana ketiga ruang tersebut terdapat larutan NaCl dengan kadar yang sama yaitu 3.2%. untuk pengkondisian temperatur menggunakan *heater bar* yang



dikoneksikan dengan listrik dan diatur hingga temperatur yang diinginkan.

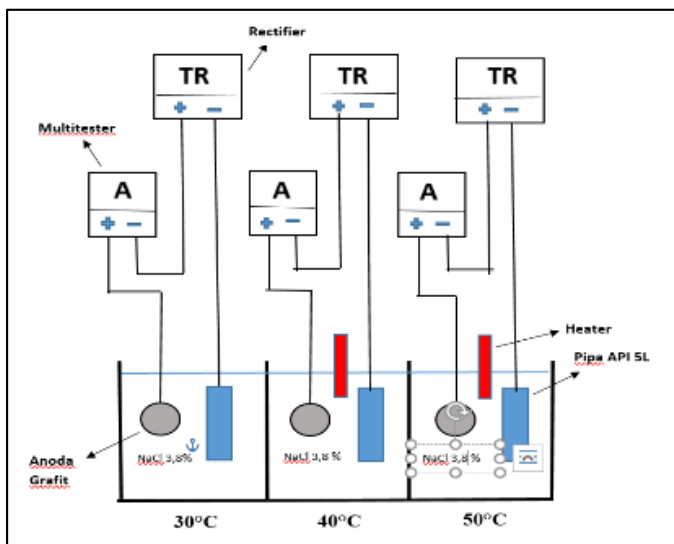
- b. Skema rancangan percobaan dengan variasi salinitas NaCl 3.5% di temperatur 30 °C, 40°C, 50 °C



**Gambar 3.14** Rancangan percobaan pada salinitas NaCl 3.5%

Pada gambar 3.14 dilakukan perancangan sistem proteksi katodik arus paksa, pada wadah instalasi diberikan sekat 3 ruang untuk mengkondisikan tiap temperatur, dimana ketiga ruang tersebut terdapat larutan NaCl dengan kadar yang sama yaitu 3.5%. untuk pengkondisian temperatur menggunakan *heater bar* yang dikoneksikan dengan listrik dan diatur hingga temperatur yang diinginkan.

- c. Skema rancangan percobaan dengan variasi salinitas NaCl 3.8% di temperatur 30°C, 40°C, 50°C



**Gambar 3.15** Rancangan percobaan dengan salinitas 3.8%

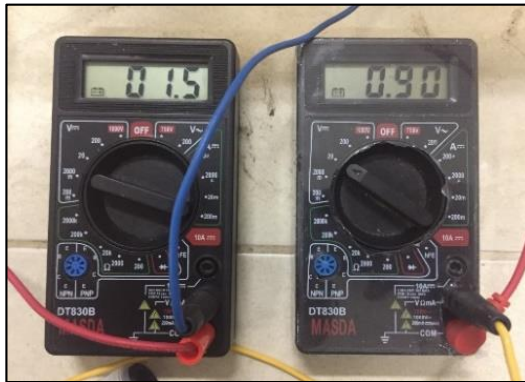
Berdasarkan pada gambar 3.13 merupakan skema rangkaian, dilakukan perancangan sistem proteksi katodik arus paksa, pada wadah instalasi diberikan sekat 3 ruang untuk mengkondisikan tiap temperatur, dimana ketiga ruang tersebut terdapat larutan NaCl dengan kadar yang sama yaitu 3.8%. untuk pengkondisian temperatur menggunakan *heater bar* yang dikoneksikan dengan listrik dan diatur hingga temperatur yang diinginkan. Pada rangkaian ini arus dialirkan melalui *buck converter* dimana power supply merupakan arus pusat dan disalurkan secara paralel meelalui *pose-pose buck converter* sehingga 9 pipa dapat terproteksi.



## 1 Pengujian yang dilakukan

### A. Pengujian Potensial Proteksi

Pengujian yang dilakukan adalah menguji apakah potensial sistem proteksi tersebut sudah masuk kedalam area proteksi yaitu sekitar -850 mV sampai dengan -1100 mV dengan suplai arus yang diberikan.



**Gambar 3. 16** Pengukuran Potensial Proteksi & Arus Proteksi

Berdasarkan gambar 3.16 dilakukan pengukuran potensial proteksi dan juga arus proteksi dari setiap sistem proteksi katodik arus paksa lalu dilakukan analisa tiap waktunya.

### B. Pengujian Makro Visual

Pengujian makro visual ini bertujuan untuk mengetahui bentuk korosi apa yang dihasilkan setelah pengujian. Pengamatan makro akan dilakukan setelah pengujian imersi 23 hari selesai maka pipa akan diangkat dianalisa jenis korosi yang terjadi pada permukaan pipa yang diproteksi.



### **C. Pengujian *Weight Loss***

Pengujian weight loss bertujuan untuk mengukur laju korosi pada setiap pipa yang dirancang dalam sistem proteksi katodik arus paksa. Setelah 23 hari imersi maka akan dihitung laju korosi dan menganalisa hasil dari pengukuran.

## **2 Analisa hasil**

Analisa yang dilakukan adalah melihat bagaimana pengaruh lingkungan dalam hal ini adalah pengaruh salinitas dan temperatur elektrolit terhadap arus proteksi yang diberikan dan melakukan perhitungan laju korosi disetiap sample uji. Kemudian membandingkan dengan teori yang sudah ada dengan membuat grafik terhadap arus proteksi dan potensial proteksi dalam imersi selama 20 hari

## **3 Evaluasi**

Evaluasi yang dilakukan adalah dengan melihat hasil pipa yang telah diberikan proteksi katodik arus paksa selama selang waktu yang telah ditentukan dan melihat anoda yang digunakan dalam proteksi arus paksa. Hal ini dapat menjadi acuan saat instalasi sistem proteksi katodik arus paksa berikutnya.

## **4 Kesimpulan**

Sistem proteksi katodik arus paksa pada pipa baja API 5L Grade B dinyatakan berhasil apabila tegangan sistem proteksi tersebut sudah masuk ke dalam area proteksi yang sudah ditentukan dan tidak terjadi kegagalan pada sistem proteksi tersebut dengan memperhatikan faktor lingkungan.



### 3.5 Tabel Eksperimen/Pengujian

Berikut adalah tabel pengujian dan data yang didapat dari penelitian tersebut :

**Tabel 3.2** Tabel Eksperimen

No.	Material	Variasi Temperatur (°C)	Variasi Salinitas (%)	I (mA)	mV
1	PA1	30	3.20%	v	v
2	PA2	40		v	v
3	PA3	50		v	v
4	PB1	30	3.50%	v	v
5	PB2	40		v	v
6	PB3	50		v	v
7	PC1	30	3.80%	v	v
8	PC2	40		v	v
9	PC3	50		v	v

### 3.6 Jadwal dan Tempat Pelaksanaan

Tempat pelaksanaan Tugas Akhir ini berada di Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan Departemen Teknik Material FTI – ITS. Untuk efisien waktu dalam melakukan penelitian maka dilakukan susunan *timeline* waktu berupa jadwal penelitian dan juga tempat pelaksanaan penelitian. Jadwal Kegiatan Tugas Akhir Sebagai Berikut:



**Tabel 3.3** Tabel Jadwal & Pelaksanaan

Agenda	Februari				Maret				April				Mei			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																
Pengumpulan Data																
Perancangan Desain																
Perhitungan Sistem Proteksi																
Instalasi Peralatan																
Pengujian Potensial																
Analisa dan Evaluasi																
Pembuatan Laporan																
Asistensi Laporan																



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*





## BAB IV

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Data

##### 4.1.1 Kondisi Awal Imersi Pipa API 5L Grade B

Sebelum instalasi pipa dengan sistem ICCP, perlu dilakukan pengkondisian awal dengan cara imersi pipa dalam lingkungan elektrolit 3.2% NaCl, 3.5% NaCl, dan 3.8% NaCl selama 8 hari. Pengukuran potensial awal imersi bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai potensial sebelum dan sesudah instalasi ICCP untuk kemudian dapat menentukan arus proteksi yang diberikan untuk 9 spesimen dalam 3 elektrolit yang berbeda agar tetap dalam level potensial terproteksi. Pengukuran potensial korosi pipa untuk pengkondisian awal ini dilakukan dengan menggunakan avometer dan elektroda referen kalomel (Ag/AgCl).

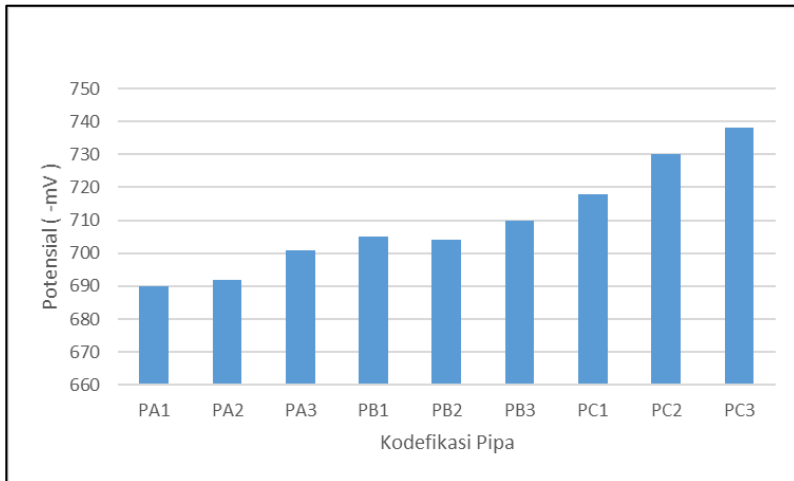
**Tabel 4.1** Kondisi awal Setelah Imersi Pipa dalam elektrolit (a) 3.2 NaCl, (b) 3.5% NaCl, dan (c) 3.8% NaCl Tanpa Instalasi ICCP selama durasi 8 hari imersi

(a)			
Kode	Salinitas	Temperatur (°C)	Potensial Korosi (-mV)
PA1	3.2%	30	690
PA2		40	692
PA3		50	701

(b)			
Kode	Salinitas	Temperatur (°C)	Potensial Korosi (-mV)
PB1	3.5%	30	705
PB2		40	704
PB3		50	710



Kode	Salinitas	(c) Temperatur (°C)	Potensial Korosi (-mV)
PC1	3.8%	30	718
PC2		40	730
PC3		50	738



**Gambar 4.1** Grafik Potensial Awal Imersi Pipa dalam Elektrolit 3.2% NaCl, 3.5% NaCl, dan 3.8% NaCl

Pada gambar 4.1 terdapat hasil berupa grafik potensial setiap pipa sebelum dirangkai dalam sistem proteksi katodik arus paksa. Terlihat adanya perbedaan potensial yang dikarenakan perbedaan lingkungan pada setiap pipa.

#### 4.1.2 Pengukuran Arus Proteksi Pipa

Pipa API 5L grade B sebagai katoda dan grafit sebagai anoda dicelupkan dalam elektrolit 3.2% NaCl, 3.5% NaCl, dan 3.8% NaCl selama 15 hari. Sebelumnya, pipa telah dilakukan pengkondisian selama 8 hari untuk merusak lapisan pasif yang terbentuk pada

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



permukaan pipa yang terbuka. Kabel tembaga pada pipa dihubungkan ke *pose* kutub negative (-) *rectifier* sedangkan kabel tembaga anoda grafit dihubungkan ke *pose* kutub positif (+) *rectifier*. Antara katoda dan anoda dengan *rectifier* dipasang avometer yang menunjukkan nilai arus yang keluar dari *rectifier* menuju katoda. Arus keluaran dari *rectifier* ini selanjutnya disebut sebagai arus proteksi yang dibutuhkan untuk proteksi pipa. Arus ini diatur dan dipantau selama 15 hari dalam proses imersi.

Pengukuran arus proteksi dilakukan dengan menggunakan dua avometer. Avometer pertama digunakan sebagai acuan untuk nilai potensial -850 mV vs elektroda referen kalomel (Ag/AgCl) dimana elektroda ini merupakan SCE (*Saturated Calomel Electrode*). Avometer kedua digunakan untuk mengukur arus yang diberikan untuk mencapai nilai potensial proteksi sebesar -850 mV. Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan kabel tembaga pada pipa dengan kutub positif (+) avometer dan menghubungkan elektroda referen dengan kutub negatif (-) avometer.

#### **4.1.3 Perbandingan Hasil Pengukuran Arus Proteksi dalam Elektrolit 3.2%, 3.5%, dan 3.8% NaCl dalam Kondisi Temperatur 30 °C, 40 °C, dan 50 °C**

Analisis data dilakukan dengan membandingkan kebutuhan arus proteksi dari masing-masing pipa dalam elektrolit 3.2% NaCl, 3.5% NaCl, dan 3.8% NaCl dalam kondisi temperatur 30 °C, 40 °C, dan 50 °C. Dimana pada pipa uji yang dianalisa berjumlah 9 pipa yang memiliki kodefikasi masing-masing yaitu PA1, PA2, PA3, PB1, PB2, PB3, PC1, PC2, dan PC3. Hasil yang didapat diambil dari rata-rata 3 kali pengukuran. Dari pengukuran selama 15 hari, didapatkan nilai arus proteksi yang dibutuhkan masing – masing pipa dengan kondisi salinitas dan temperatur yang berbeda.

##### **4.1.3.1 Perbandingan Arus Proteksi dalam 3.2% NaCl dalam kondisi temperatur 30 °C, 40 °C, dan 50 °C**

Pada perbandingan arus proteksi pada 3.2% NaCl dilakukan analisa tiap pipa uji yang terletak pada satu bak



container plastik yang berisi 3 pipa uji dengan kodefikasi PA1, PA2, PA3 dimana PA1 dalam kondisi temperatur kamar (30 °C), PA2 dalam kondisi temperatur 40°C, dan PA3 dalam kondisi temperatur 50°C yang diberi sekat antar sistem.

**Tabel 4.2** Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PA1 selama 15 hari pengujian ICCP

<b>PA1 ( 3.2% , 30 °C )</b>		
<i>Day</i>	<i>V<sub>p</sub> (-mV)</i>	<i>I (mA)</i>
1	860	0.45
2	870	0.5
3	890	0.65
4	885	0.7
5	1050	0.9
6	890	0.95
7	890	0.87
8	860	1
9	865	0.95
10	890	1.1
11	880	1.08
12	890	1.12
13	880	1.2
14	890	1.34
15	865	1.3
<i>Average</i>	<b>890</b>	<b>0.94</b>

Pada tabel 4.2 dapat dilihat pengukuran arus proteksi pipa dengan kodefikasi PA1 yang diuji pada elektrolit 3.2% NaCl dan kondisi temperatur 30 °C. Dapat dilihat pada tabel bahwa potensial proteksi diatur sesuai dengan standar proteksi *ICCP* yaitu pada potensial proteksi dengan radius -850 mv hingga -1100 mv. Lalu didapatkan arus proteksi yang fluktuatif. Selama 15 hari pengukuran pada pipa PA1 arus proteksi terendah terjadi pada hari ke-1 dengan arus sebesar 0.45 mA dan arus proteksi tertinggi terjadi pada hari ke-14 sebesar 1.34 mA. Selama

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



pengujian 15 hari untuk mencapai *range* proteksi yang stabil susah didapatkan dikarenakan keterbatasan alat (*rectifier*) yang kurang konstan. Didapatkan rata-rata arus proteksi sebesar 0.94 mA selama 15 hari pengujian.

**Tabel 4.3** Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PA2 selama 15 hari pengujian ICCP

<b>PA2 ( 3.2%, 40 °C )</b>		
<i>Day</i>	<i>V<sub>p</sub> (-mV)</i>	<i>I (mA)</i>
1	870	0.52
2	890	0.61
3	885	0.62
4	1050	0.8
5	1000	0.95
6	910	1.12
7	890	1
8	900	1.05
9	910	1.1
10	890	1.05
11	880	1.3
12	950	1.25
13	1000	1.32
14	980	1.37
15	940	1.3
<i>Average</i>	<b>930</b>	<b>1.024</b>

Pada tabel 4.3 dapat dilihat pengukuran arus proteksi pipa dengan kodifikasi PA2 yang diuji pada elektrolit 3.2% NaCl dan kondisi temperatur 40 °C. Dapat dilihat pada tabel bahwa potensial proteksi diatur sesuai dengan standar proteksi *ICCP* yaitu pada potensial proteksi dengan radius -850 mv hingga -1100 mv. Lalu didapatkan arus proteksi yang fluktuatif. Selama 15 hari pengukuran pada pipa PA1 arus proteksi terendah terjadi pada hari ke-1 dengan arus sebesar 0.52 mA dan arus proteksi

---

## **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**



tertinggi terjadi pada hari ke-14 sebesar 1.37 mA. Selama pengujian 15 hari untuk mencapai *range* proteksi yang stabil susah didapatkan dikarenakan keterbatasan alat (*rectifier*) yang kurang konstan. Didapatkan rata-rata arus proteksi sebesar 1.024 mA selama 15 hari pengujian.

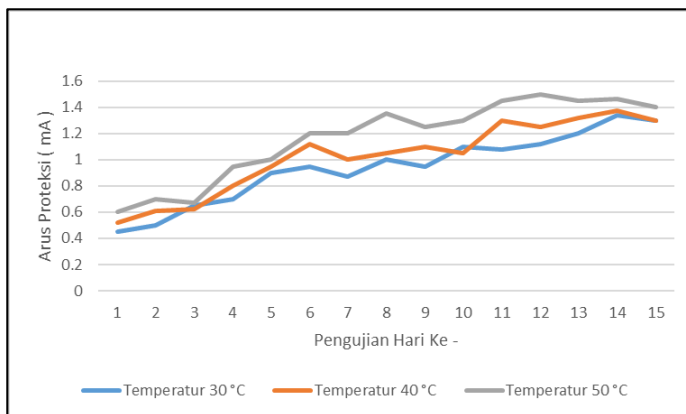
**Tabel 4.4** Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PA3 selama 15 hari pengujian ICCP

<b>PA3 ( 3.2% , 50 °C )</b>		
<i>Day</i>	<i>V<sub>p</sub> (-mV)</i>	<i>I (mA)</i>
1	910	0.6
2	900	0.7
3	890	0.67
4	880	0.95
5	870	1
6	890	1.2
7	900	1.2
8	910	1.35
9	900	1.25
10	880	1.3
11	890	1.45
12	875	1.5
13	890	1.45
14	950	1.46
15	960	1.4
<i>Average</i>	<b>900</b>	<b>1.16</b>

Pada tabel 4.4 dapat dilihat pengukuran arus proteksi pipa dengan kodefikasi PA3 yang diuji pada elektrolit 3.2% NaCl dan kondisi temperatur 50 °C. Dapat dilihat pada tabel bahwa potensial proteksi diatur sesuai dengan standar proteksi *ICCP* yaitu pada potensial proteksi dengan radius -850 mv hingga -1100 mv. Lalu didapatkan arus proteksi yang fluktuatif. Selama 15 hari pengukuran pada pipa PA3 arus proteksi terendah terjadi

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

pada hari ke-1 dengan arus sebesar 0.6 mA dan arus proteksi tertinggi terjadi pada hari ke-14 sebesar 1.46 mA. Selama pengujian 15 hari untuk mencapai *range* proteksi yang stabil susah didapatkan dikarenakan keterbatasan alat (*rectifier*) yang kurang konstan. Didapatkan rata-rata arus proteksi sebesar 1.16 mA selama 15 hari pengujian.



**Gambar 4.2** Arus Proteksi Pipa dalam Salinitas 3.2% NaCl

Dari gambar 4.2 terlihat grafik arus proteksi 3 pipa yaitu pipa PA1, PA2, dan PA3 dimana pengukuran arus proteksi dilakukan selama 15 hari pengujian dan dilakukan analisa setiap interval 24 jam pada pukul 20.00 WIB dengan 3 kali pengukuran. Jika dilihat dari grafik kebutuhan arus proteksi ketiga pipa semakin tinggi dengan bertambahnya hari pengujian dilihat dari pengujian hari pertama hingga hari terakhir. Kebutuhan arus proteksi rata-rata tertinggi pada pipa dengan kodefikasi PA3 dengan kondisi temperatur 50 °C dan kebutuhan arus proteksi rata-rata terendah pada pipa dengan kodefikasi PA1 dengan kondisi temperatur 30°C. Pipa dengan kondisi temperatur 30°C (PA1) , 40°C (PA2), dan 50°C (PA3) memiliki nilai arus proteksi yang semakin meningkat namun dengan selisih yang kecil mulai dari 0.1 mA – 0.23 mA. Untuk pipa dengan temperatur 50°C memiliki peningkatan arus

#### **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**



yang relatif lebih besar dibandingkan dengan temperatur dibawahnya yaitu 30°C dan 40°C dan kenaikan arus terbesar terjadi pada pipa PA3 dengan rata-rata arus 1.16 mA. Selama 15 hari pengukuran terlihat adanya ketidakstabilan arus saat awal pengukuran dan terjadi pada semua spesimen uji. Semakin bertambahnya waktu, arus proteksi yang dibutuhkan semakin tinggi tetapi fluktuatif adanya dengan adanya sedikit penurunan dan lebih stabil. Secara kuantitatif, kenaikan arus proteksi antara pipa dengan kondisi temperatur elektrolit 30°C memiliki kenaikan sebesar 12.5%. Sementara pada pipa dengan kondisi temperatur 40°C memiliki kenaikan sebesar 14%. Dan pada pipa dengan kondisi temperatur tertinggi yaitu 50°C memiliki kenaikan sebesar 18.5%. Jadi pada pengukuran arus proteksi bisa disimpulkan bahwa adanya kenaikan arus proteksi yang fluktuatif.

#### **4.1.3.2 Perbandingan Arus Proteksi dalam 3.5% NaCl dalam kondisi temperatur 30 °C, 40 °C, dan 50 °C**

Pada perbandingan arus proteksi pada 3.5% NaCl dilakukan analisa tiap pipa uji yang terletak pada satu bak container plastik yang berisi 3 pipa uji dengan kodefikasi PB1, PB2, PB3 dimana PB1 dalam kondisi temperatur kamar (30 °C), PB2 dalam kondisi temperatur 40°C, dan PB3 dalam kondisi temperatur 50°C yang diberi sekat antar sistem. Dalam pengukuran 15 hari untuk mengukur arus proteksi dilakukan pengamatan dengan interval 24 jam dan diukur pada saat 8 malam di laboratorium korosi dan analisa kegagalan. Pada pengukuran arus proteksi tersebut diperlukan range proteksi yang sesuai dengan standar proteksi pada pipa agar pipa terproteksi. Dengan menggunakan rangkaian ICCP maka akan dilakukan pengukuran pada rancangan dengan menggunakan avometer/multitester untuk mengetahui arus proteksi yang didapatkan. Untuk mendapatkan arus proteksi dengan nilai yang signifikan atau valid maka dilakukan pengukuran sebanyak 3 kali agar nilai yang didapatkan signifikan atau valid.





Selama pengukuran 15 hari potensial proteksi dan arus proteksi dicatat dan diamati apakah ada perubahan yang signifikan dan apakah adanya kenaikan atau penurunan pada arus proteksi yang didapatkan. Hal ini dapat ditinjau dengan catatan 15 hari pengukuran lalu dibuat sebuah grafik yang meninjau ketiga pipa yaitu pipa PB1, PB2, dan PB3 dan dilakukan analisa.

**Tabel 4.5** Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PB1 selama 15 hari pengujian ICCP

<b>PB1 ( 3.5% , 30 °C )</b>		
<i>Day</i>	<i>V<sub>p</sub> (-mV)</i>	<i>I (mA)</i>
1	890	0.35
2	900	0.4
3	920	0.57
4	900	0.5
5	970	0.45
6	1000	0.6
7	1010	0.95
8	950	1.1
9	900	1.05
10	950	1.24
11	910	1.2
12	890	1.2
13	890	1.32
14	920	1.2
15	910	1.4
<i>Average</i>	<b>927</b>	<b>0.9</b>

Pada tabel 4.5 dapat dilihat pengukuran arus proteksi pipa dengan kodefikasi PB1 yang diuji pada elektrolit 3.2% NaCl dan kondisi temperatur 30 °C. Dapat dilihat pada tabel bahwa potensial proteksi diatur sesuai dengan standar proteksi ICCP yaitu pada potensial proteksi dengan radius -850 mv hingga - 1100 mv. Lalu didapatkan arus proteksi yang fluktuatif. Selama

---

#### **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**



15 hari pengukuran pada pipa PB1 arus proteksi terendah terjadi pada hari ke-1 dengan arus sebesar 0.35 mA dan arus proteksi tertinggi terjadi pada hari ke-15 sebesar 1.4 mA. Selama pengujian 15 hari untuk mencapai *range* proteksi yang stabil susah didapatkan dikarenakan keterbatasan alat (*rectifier*) yang kurang konstan. Didapatkan rata-rata arus proteksi sebesar 0.9 mA selama 15 hari pengujian.

**Tabel 4.6** Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PB2 selama 15 hari pengujian ICCP

<b>PB2 ( 3.5% , 40 °C )</b>		
<i>Day</i>	<i>Vp (-mV)</i>	<i>I (mA)</i>
1	910	0.6
2	920	0.45
3	910	0.6
4	900	0.6
5	880	0.57
6	890	0.8
7	880	1.12
8	950	1.3
9	980	1.2
10	1000	1.34
11	970	1.35
12	950	1.42
13	890	1.5
14	900	1.31
15	910	1.52
<i>Average</i>	<b>923</b>	<b>1.04</b>

Pada tabel 4.6 dapat dilihat pengukuran arus proteksi pipa dengan kodifikasi PB2 yang diuji pada elektrolit 3.2% NaCl dan kondisi temperatur 40 °C. Dapat dilihat pada tabel bahwa potensial proteksi diatur sesuai dengan standar proteksi *ICCP* yaitu pada potensial proteksi dengan radius -850 mv hingga -

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



1100 mv. Lalu didapatkan arus proteksi yang fluktuatif. Selama 15 hari pengukuran pada pipa PB2 arus proteksi terendah terjadi pada hari ke-2 dengan arus sebesar 0.45 mA dan arus proteksi tertinggi terjadi pada hari ke-15 sebesar 1.52 mA. Selama pengujian 15 hari untuk mencapai *range* proteksi yang stabil susah didapatkan dikarenakan keterbatasan alat (*rectifier*) yang kurang konstan. Didapatkan rata-rata arus proteksi sebesar 1.04 mA selama 15 hari pengujian.

**Tabel 4.7** Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PB3 selama 15 hari pengujian ICCP

<b>PB3 ( 3.5% , 50 °C )</b>		
<i>Day</i>	<i>V<sub>p</sub> (-mV)</i>	<i>I (mA)</i>
1	890	0.58
2	900	0.55
3	920	0.72
4	990	0.8
5	970	0.92
6	1000	1.02
7	980	1.3
8	990	1.35
9	890	1.39
10	870	1.4
11	860	1.65
12	900	1.6
13	920	1.58
14	890	1.7
15	880	1.85
<i>Average</i>	<b>923</b>	<b>1.23</b>

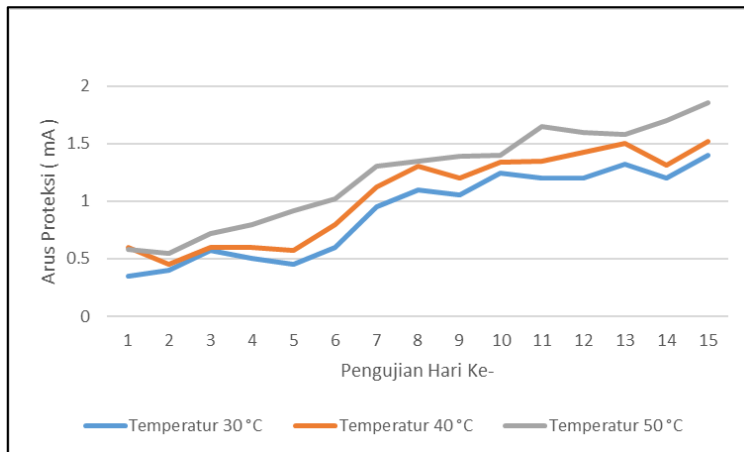
Pada tabel 4.7 dapat dilihat pengukuran arus proteksi pipa dengan kodefikasi PB3 yang diuji pada elektrolit 3.2% NaCl dan kondisi temperatur 50 °C. Dapat dilihat pada tabel bahwa potensial proteksi diatur sesuai dengan standar proteksi *ICCP*

---

#### **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**



yaitu pada potensial proteksi dengan radius -850 mv hingga -1100 mv. Lalu didapatkan arus proteksi yang fluktuatif. Selama 15 hari pengukuran pada pipa PB3 arus proteksi terendah terjadi pada hari ke-1 dengan arus sebesar 0.58 mA dan arus proteksi tertinggi terjadi pada hari ke-15 sebesar 1.85 mA. Selama pengujian 15 hari untuk mencapai *range* proteksi yang stabil susah didapatkan dikarenakan keterbatasan alat (*rectifier*) yang kurang konstan. Didapatkan rata-rata arus proteksi sebesar 1.23 mA selama 15 hari pengujian.



**Gambar 4.3** Arus Proteksi Pipa dalam Salinitas 3.5% NaCl

Dari gambar 4.3 terlihat grafik arus proteksi 3 pipa yaitu pipa PB1, PB2, dan PB3 dimana pengukuran arus proteksi dilakukan selama 15 hari pengujian dan dilakukan analisa setiap interval 24 jam pada pukul 20.00 WIB dengan 3 kali pengukuran. Jika dilihat dari grafik kebutuhan arus proteksi ketiga pipa semakin tinggi dengan bertambahnya hari pengujian dilihat dari pengujian hari pertama hingga hari terakhir. Kebutuhan arus proteksi rata-rata tertinggi pada pipa dengan kodefikasi PB3 dengan kondisi



temperatur 50 °C dan kebutuhan arus proteksi rata-rata terendah pada pipa dengan kodefikasi PB1 dengan kondisi temperatur 30°C. Pipa dengan kondisi temperatur 30°C (PB1) , 40°C (PB2), dan 50°C (PB3) memiliki nilai arus proteksi yang semakin meningkat namun dengan selisih yang kecil mulai dari 0.14 mA – 0.33 mA. Untuk pipa dengan temperatur 50°C memiliki peningkatan arus yang relatif lebih besar dibandingkan dengan temperatur dibawahnya yaitu 30°C dan 40°C dan kenaikan arus terbesar terjadi pada pipa PB3 dengan rata-rata arus 1.23 mA. Selama 15 hari pengukuran terlihat adanya ketidakstabilan arus saat awal pengukuran dan terjadi pada semua spesimen uji. Semakin bertambahnya waktu, arus proteksi yang dibutuhkan semakin tinggi tetapi fluktuatif dan adanya sedikit penurunan dan bisa dikatakan tetap stabil semakin naik.

#### **4.1.3.3 Perbandingan Arus Proteksi dalam 3.8% NaCl dalam kondisi temperatur 30 °C, 40 °C, dan 50 °C**

Pada perbandingan arus proteksi pada 3.8% NaCl dilakukan analisa tiap pipa uji yang terletak pada satu bak container plastik yang berisi 3 pipa uji dengan kodefikasi PC1, PC2, PC3 dimana PB1 dalam kondisi temperatur kamar (30 °C), PB2 dalam kondisi temperatur 40°C, dan PB3 dalam kondisi temperatur 50°C yang diberi sekat antar sistem. Dalam pengukuran 15 hari untuk mengukur arus proteksi dilakukan pengamatan dengan interval 24 jam dan diukur pada saat 8 malam di laboratorium korosi dan analisa kegagalan. Pada pengukuran arus proteksi tersebut diperlukan range proteksi yang sesuai dengan standar proteksi pada pipa agar pipa terproteksi. Dengan menggunakan rangkaian ICCP maka akan dilakukan pengukuran pada rancangan dengan menggunakan avometer/multitester untuk mengetahui arus proteksi yang didapatkan. Untuk mendapatkan arus proteksi dengan nilai yang signifikan atau valid maka dilakukan pengukuran sebanyak 3 kali agar nilai yang didapatkan signifikan atau valid dan tidak adanya *miss* dalam pengukuran.



Selama pengukuran 15 hari potensial proteksi dan arus proteksi dicatat dan diamati apakah ada perubahan yang signifikan dan apakah adanya kenaikan atau penurunan pada arus proteksi yang didapatkan. Hal ini dapat ditinjau dengan catatan 15 hari pengukuran lalu dibuat sebuah grafik yang meninjau ketiga pipa yaitu pipa PB1, PB2, dan PB3 dan dilakukan analisa. Dimana pada pipa PC1 dikondisikan pada temperatur kamar 30 °C, pipa PC2 dikondisikan pada temperatur 40°C dan pipa PC3 dikondisikan pada temperatur 50°C dimana ketiga pipa tersebut di imersi pada larutan NaCl dengan salinitas 3.8% dan dirancang dalam sistem proteksi katodik arus paksa (ICCP).

**Tabel 4.8** Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PC1 selama 15 hari pengujian ICCP

<b>PC1 ( 3.8% , 30 °C )</b>		
<i>Day</i>	<i>V<sub>p</sub> (-mV)</i>	<i>I (mA)</i>
1	950	0.62
2	960	0.87
3	920	0.78
4	900	0.8
5	890	0.9
6	920	0.95
7	900	1.05
8	890	1.07
9	900	1
10	950	1.05
11	1000	1.3
12	1000	1.34
13	980	1.45
14	950	1.5
15	920	1.64
<i>Average</i>	<b>935</b>	<b>1.088</b>



Pada tabel 4.8 dapat dilihat pengukuran arus proteksi pipa dengan kodifikasi PC1 yang diuji pada elektrolit 3.2% NaCl dan kondisi temperatur 30 °C. Dapat dilihat pada tabel bahwa potensial proteksi diatur sesuai dengan standar proteksi ICCP yaitu pada potensial proteksi dengan radius -850 mv hingga -1100 mv. Lalu didapatkan arus proteksi yang fluktuatif. Selama 15 hari pengukuran pada pipa PC1 arus proteksi terendah terjadi pada hari ke-1 dengan arus sebesar 0.62 mA dan arus proteksi tertinggi terjadi pada hari ke-15 sebesar 1.64 mA. Selama pengujian 15 hari untuk mencapai *range* proteksi yang stabil susah didapatkan dikarenakan keterbatasan alat (*rectifier*) yang kurang konstan. Didapatkan rata-rata arus proteksi sebesar 1.088 mA selama 15 hari pengujian.

**Tabel 4.9** Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PC2 selama 15 hari pengujian ICCP

<b>PC2 ( 3.8% , 40 °C )</b>		
<i>Day</i>	<i>V<sub>p</sub> (-mV)</i>	<i>I (mA)</i>
1	950	0.52
2	950	0.75
3	930	0.8
4	990	0.89
5	920	0.95
6	900	1.1
7	890	1.15
8	1000	1.2
9	990	1.34
10	950	1.3
11	900	1.4
12	890	1.54
13	920	1.55
14	950	1.71
15	900	1.75
<i>Average</i>	<b>935</b>	<b>1.2</b>

---

## **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**



Pada tabel 4.9 dapat dilihat pengukuran arus proteksi pipa dengan kodifikasi PC2 yang diuji pada elektrolit 3.2% NaCl dan kondisi temperatur 40 °C. Dapat dilihat pada tabel bahwa potensial proteksi diatur sesuai dengan standar proteksi *ICCP* yaitu pada potensial proteksi dengan radius -850 mv hingga -1100 mv. Lalu didapatkan arus proteksi yang fluktuatif. Selama 15 hari pengukuran pada pipa PC2 arus proteksi terendah terjadi pada hari ke-1 dengan arus sebesar 0.52 mA dan arus proteksi tertinggi terjadi pada hari ke-15 sebesar 1.75 mA. Selama pengujian 15 hari untuk mencapai *range* proteksi yang stabil susah didapatkan dikarenakan keterbatasan alat (*rectifier*) yang kurang konstan. Didapatkan rata-rata arus proteksi sebesar 1.2 mA selama 15 hari pengujian.

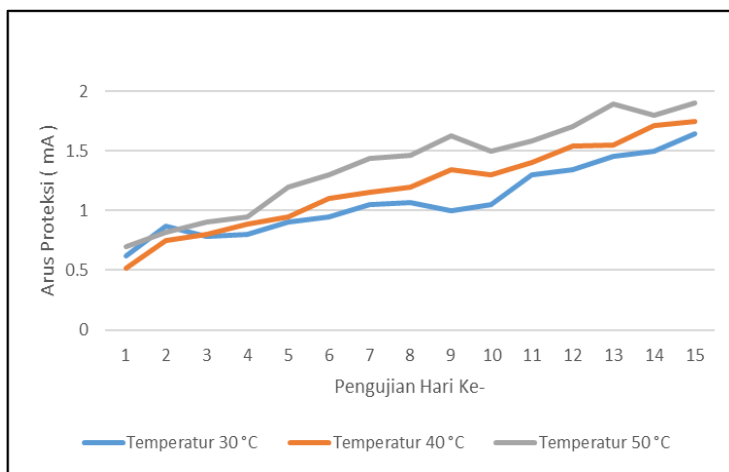
**Tabel 4.10** Tabel Pengukuran Arus Proteksi pipa PC3 selama 15 hari pengujian ICCP

<b>PC3 ( 3.8% , 50 °C )</b>		
<i>Day</i>	<i>V<sub>p</sub> (-mV)</i>	<i>I (mA)</i>
1	940	0.7
2	900	0.82
3	920	0.9
4	950	0.95
5	1000	1.2
6	920	1.3
7	900	1.44
8	890	1.46
9	900	1.63
10	890	1.5
11	880	1.58
12	890	1.7
13	860	1.89
14	900	1.8
15	890	1.9
<i>Average</i>	<b>908</b>	<b>1.38</b>





Pada tabel 4.10 dapat dilihat pengukuran arus proteksi pipa dengan kodefikasi PC3 yang diuji pada elektrolit 3.2% NaCl dan kondisi temperatur 50 °C. Dapat dilihat pada tabel bahwa potensial proteksi diatur sesuai dengan standar proteksi *ICCP* yaitu pada potensial proteksi dengan radius -850 mv hingga -1100 mv. Lalu didapatkan arus proteksi yang fluktuatif. Selama 15 hari pengukuran pada pipa PC3 arus proteksi terendah terjadi pada hari ke-1 dengan arus sebesar 0.7 mA dan arus proteksi tertinggi terjadi pada hari ke-14 sebesar 1.9 mA. Selama pengujian 15 hari untuk mencapai *range* proteksi yang stabil susah didapatkan dikarenakan keterbatasan alat (*rectifier*) yang kurang konstan. Didapatkan rata-rata arus proteksi sebesar 1.38 mA selama 15 hari pengujian.



**Gambar 4.4** Arus Proteksi Pipa dalam Salinitas 3.8% NaCl

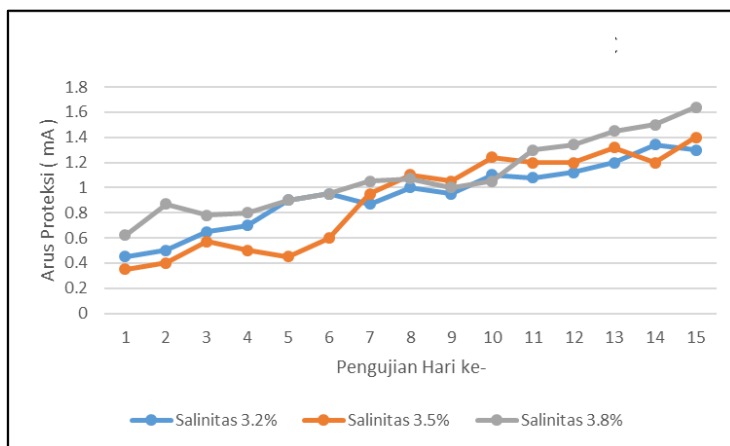
Dari gambar 4.4 terlihat grafik arus proteksi 3 pipa yaitu pipa PC1, PC2, dan PC3 dimana pengukuran arus proteksi dilakukan selama 15 hari pengujian dan dilakukan analisa setiap interval 24 jam pada pukul 20.00 WIB dengan 3 kali pengukuran. Jika dilihat dari grafik kebutuhan arus proteksi ketiga pipa semakin

#### BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



tinggi dengan bertambahnya hari pengujian dilihat dari pengujian hari pertama hingga hari terakhir. Kebutuhan arus proteksi rata-rata tertinggi pada pipa dengan kodefikasi PC3 dengan kondisi temperatur 50 °C dan kebutuhan arus proteksi rata-rata terendah pada pipa dengan kodefikasi PC1 dengan kondisi temperatur 30°C. Pipa dengan kondisi temperatur 30°C (PC1) , 40°C (PC2), dan 50°C (PC3) memiliki nilai arus proteksi yang semakin meningkat namun dengan selisih yang kecil mulai dari 0.14 mA – 0.33 mA. Untuk pipa dengan temperatur 50°C memiliki peningkatan arus yang relatif lebih besar dibandingkan dengan temperatur dibawahnya yaitu 30°C dan 40°C dan kenaikan arus terbesar terjadi pada pipa PC3 dengan rata-rata arus 1.38 mA. Selama 15 hari pengukuran terlihat adanya ketidakstabilan arus saat awal pengukuran dan terjadi pada semua spesimen uji. Semakin bertambahnya waktu, arus proteksi yang dibutuhkan semakin tinggi dan sedikit adanya titik penurunan arus proteksi.

#### 4.1.3.4 Perbandingan Arus Proteksi Temperatur 30 °C dalam dengan elektrolit NaCl 3.2%, 3.5%, dan 3.8%

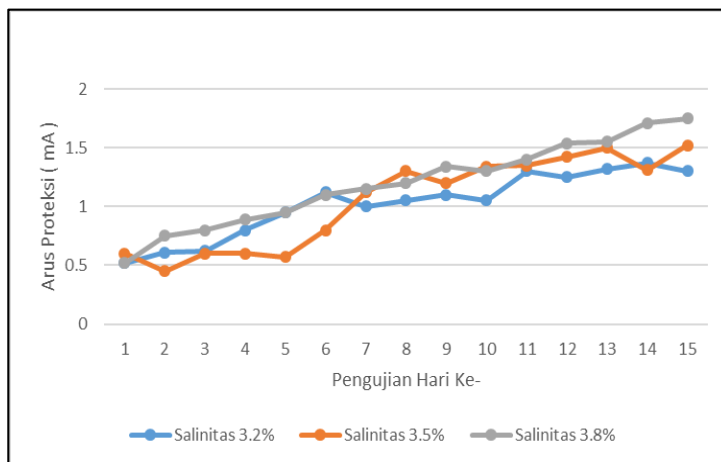


**Gambar 4.5** Grafik Perbandingan Arus Proteksi Pipa dalam kondisi temperatur 30°C pada elektrolit NaCl 3.2%, 3.5%, 3.8%



Pengukuran dilakukan dengan membandingkan kebutuhan arus proteksi dari pipa dengan kondisi temperatur  $30^{\circ}\text{C}$  yang di imersikan kedalam larutan NaCl dengan salinitas 3.2%, 3.5% dan 3.8% yaitu pipa dengan kodefikasi PA1, PB1, dan PC1. Dimana pada grafik perbandingan terlihat arus proteksi yang didapatkan ketika temperatur kamar konstan  $30^{\circ}\text{C}$  terlihat fluktuatif dengan kenaikan yang signifikan. dimana pada awal pengujian hari pertama pipa pada salinitas 3.5% dengan kodefikasi PB1 memiliki arus proteksi yang paling rendah sebesar 0.35 mA dan pipa kodefikasi PC1 memiliki arus proteksi paling tinggi sebesar 0.62 mA. Dan diakhir pengujian pada hari ke-15 pipa dengan kodefikasi PA1 memiliki arus proteksi terendah sebesar 1.3 mA dan pipa dengan kodefikasi PC1 memiliki arus proteksi tertinggi sebesar 1.64 mA. Dan didapatkan rata-rata kenaikan arus proteksi tertinggi pada pipa kodefikasi PC1 dan terendah pada pipa kodefikasi PA1.

#### 4.1.3.5 Perbandingan Arus Proteksi Temperatur $40^{\circ}\text{C}$ dalam dengan elektrolit NaCl 3.2%, 3.5%, dan 3.8%

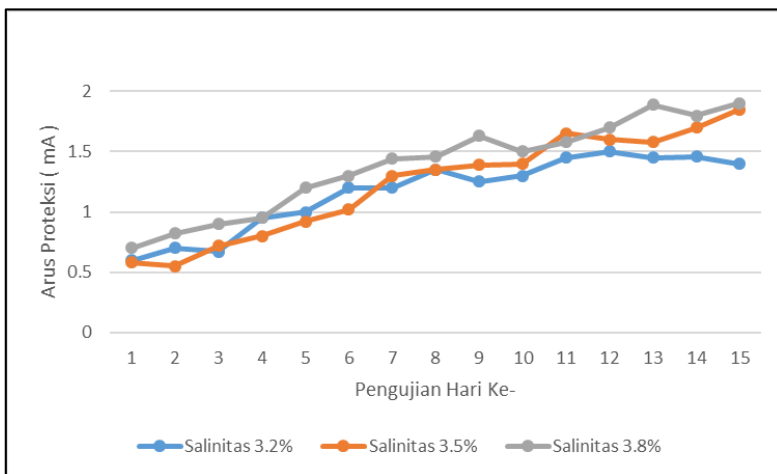


**Gambar 4.6** Grafik Perbandingan Arus Proteksi Pipa dalam kondisi temperatur  $40^{\circ}\text{C}$  pada elektrolit NaCl 3.2%, 3.5%, 3.8%



Pengukuran dilakukan dengan membandingkan kebutuhan arus proteksi dari pipa dengan kondisi temperatur  $40^{\circ}\text{C}$  yang di imersikan kedalam larutan NaCl dengan salinitas 3.2%, 3.5% dan 3.8% yaitu pipa dengan kodefikasi PA2, PB2, dan PC2. Dimana pada grafik perbandingan terlihat arus proteksi yang didapatkan ketika temperatur  $40^{\circ}\text{C}$  terlihat fluktuatif dengan kenaikan yang signifikan. dimana pada awal pengujian hari pertama pipa dengan kodefikasi PA2 dan PC2 memiliki arus proteksi yang paling rendah sebesar 0.52 mA dan pipa kodefikasi PB2 memiliki arus proteksi paling tinggi sebesar 0.6 mA. Dan diakhir pengujian pada hari ke-15 pipa dengan kodefikasi PA2 memiliki arus proteksi terendah sebesar 1.3 mA dan pipa dengan kodefikasi PC2 memiliki arus proteksi tertinggi sebesar 1.75 mA. Dan didapatkan rata-rata kenaikan arus proteksi tertinggi pada pipa kodefikasi PC2 dan terendah pada pipa kodefikasi PA2.

#### 4.1.3.6 Perbandingan Arus Proteksi Temperatur $50^{\circ}\text{C}$ dalam dengan elektrolit NaCl 3.2%, 3.5%, dan 3.8%



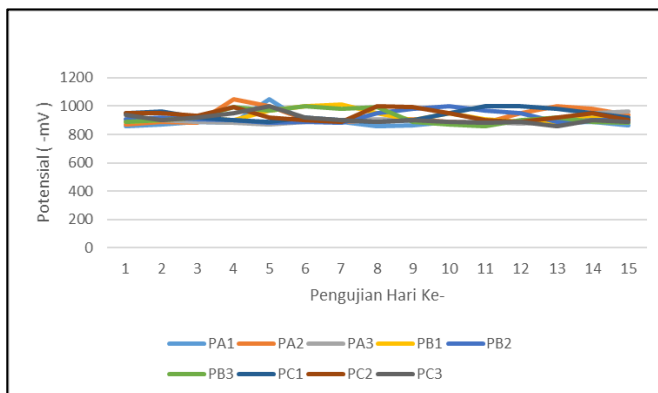
**Gambar 4.7** Grafik Perbandingan Arus Proteksi Pipa dalam kondisi temperatur  $50^{\circ}\text{C}$  pada elektrolit NaCl 3.2%, 3.5%, 3.8%



Dimana pada grafik perbandingan terlihat arus proteksi yang didapatkan ketika temperatur 50°C terlihat fluktuatif dengan kenaikan yang signifikan. dimana pada awal pengujian hari pertama pipa dengan kodefikasi PA3 dan PB3 memiliki arus proteksi yang paling rendah sebesar 0.6 mA dan pipa kodefikasi PC2 memiliki arus proteksi paling tinggi sebesar 0.75 mA. Dan diakhir pengujian pada hari ke-15 pipa dengan kodefikasi PA3 memiliki arus proteksi terendah sebesar 1.42 mA dan pipa dengan kodefikasi PC3 memiliki arus proteksi tertinggi sebesar 1.9 mA. Dan didapatkan rata-rata kenaikan arus proteksi tertinggi pada pipa kodefikasi PC3 dan terendah pada pipa kodefikasi PA3

#### 4.1.4 Perbandingan Potensial Proteksi pada Pipa

Analisis data juga dilakukan dengan membandingkan potensial proteksi pipa dari masing-masing pipa dalam elektrolit 3.2% NaCl, 3.5% NaCl, dan 3.8% NaCl dalam kondisi temperatur 30 °C, 40 °C, dan 50 °C. Dimana pada pipa uji yang dianalisa berjumlah 9 pipa yang memiliki kodefikasi masing-masing yaitu PA1, PA2, PA3, PB1, PB2, PB3, PC1, PC2, dan PC3. Hasil yang didapat diambil dari rata-rata 3 kali pengukuran dalam *range* proteksi pipa 850 –mV hingga 1100 –Mv.



**Gambar 4.8** Grafik Perbandingan Potensial Proteksi Pipa PA1, PA2, PA3, PB1, PB2, PB3, PC1, PC2, dan PC3



Pada gambar 4.8 terlihat potensial proteksi pada pipa yang diujikan selama 15 hari imersi masuk kedalam *range* proteksi antara 850 –mV hingga 1100 –mV dimana potensial yang dihasilkan stabil selama 15 hari pengujian dan ada sedikit kenaikan dan penurunan yang tidak terlalu signifikan sehingga potensial proteksi yang didapat masuk ke dalam *range* proteksi.

#### **4.1.3 Perbandingan Laju Korosi**

Setelah dilakukan pengukuran arus proteksi, laju koreksi Juga akan diperhitungkan. Pengukuran laju koreksi menggunakan Metode weight loss yaitu metode yang menggunakan prinsip Selisih berat awal dan juga berat akhir dalam sebuah pengujian. Perhitungan menggunakan rumus untuk mencari laju korosi :

$$CR = \frac{87,6 W}{DAT}$$

Dimana :

- CR = Laju korosi (mm/year)
- D = Densitas (gram/cm<sup>3</sup>)
- W = Berat yang hilang (gram)
- A = Luas permukaan (cm<sup>2</sup>)
- T = Waktu (jam)

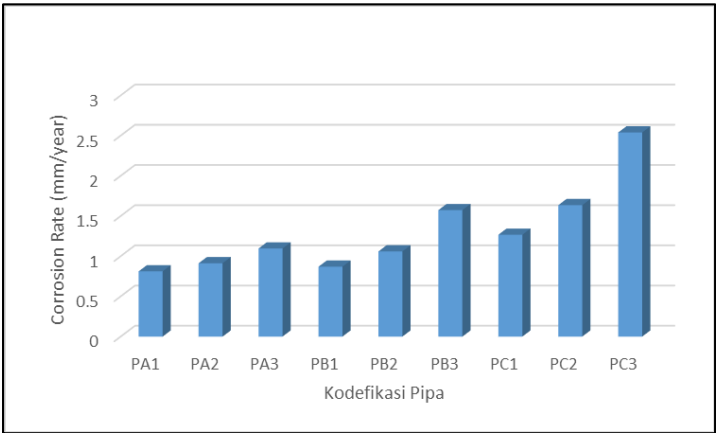
Dimana laju korosi yang dicari dalam penelitian ini, terdapat 9 pipa dengan kodefikasi laju korosi yg berbeda-beda yaitu CR PA1, CR PA2, CR PA3, CR PB1, CR PB2, CR PB3, CR PC1, CR PC2, dan CR PC3. Densitas pipa API 5L grade B sebesar 7.86 gram/cm<sup>3</sup>, berat awal pipa homogen yaitu 1.75 kg atau 1750 gram, Luas permukaan pipa yang diproteksi 188 cm<sup>2</sup>, dan waktu pengujian 23 hari / 552 jam. Dari perhitungan laju korosi sesuai dengan rumus Faraday didapatkan masing-masing laju korosi dari setiap pipa dan dilakukan perbandingan.



**Tabel 4.11** Tabel Perhitungan Laju Korosi

Kodefikasi	$\Delta W$ (gram)	CR (mm/year)
PA1	7.56	0.811907
PA2	8.5	0.912859
PA3	10.21	1.096504
PB1	8.1	0.869901
PB2	9.87	1.059891
PB3	14.65	1.573349
PC1	11.8	1.267263
PC2	15.23	1.635628
PC3	23.65	2.539896

Berdasarkan tabel 4.11 didapatkan nilai laju korosi (mm/year) setelah dilakukan perhitungan menggunakan rumus dari metode pengurangan berat (*weight loss*).



**Gambar 4.9** Grafik Laju Korosi

Adanya perbedaan tingkat laju korosi seperti yang tertera pada gambar 4.9 tentang perbandingan laju korosi dari



masing-masing pipa dikarenakan faktor lingkungan baik itu pengkondisian dari temperatur dan juga kadar garam.

#### **4.1.6 Hasil Foto Makro Spesimen**

Setelah melakukan pengukuran arus proteksi pipa pada sistem *ICCP* maka dilakukan pengamatan secara makro visual. Hal ini dilakukan untuk mengetahui jenis korosi yang terjadi pada permukaan pipa setelah perendaman/imersi selama proses *ICCP*.

##### **4.1.6.1 Hasil Makro Visual dari pipa PA1,PA2,PA3 dalam salinitas 3.2% pada temperatur 30°C, 40°C, 50°C**

Berikut merupakan hasil makro visual permukaan pipa PA1, PA2, dan PA3 dalam salinitas NaCl 3.2% pada temperatur 30°C, 40°C, dan 50°C dalam sistem proteksi katodik arus paksa :



**Gambar 4.10** Hasil Makro Visual Pipa Kodefikasi PA1





**Gambar 4.11** Hasil Makro Visual Pipa Kodefikasi PA2



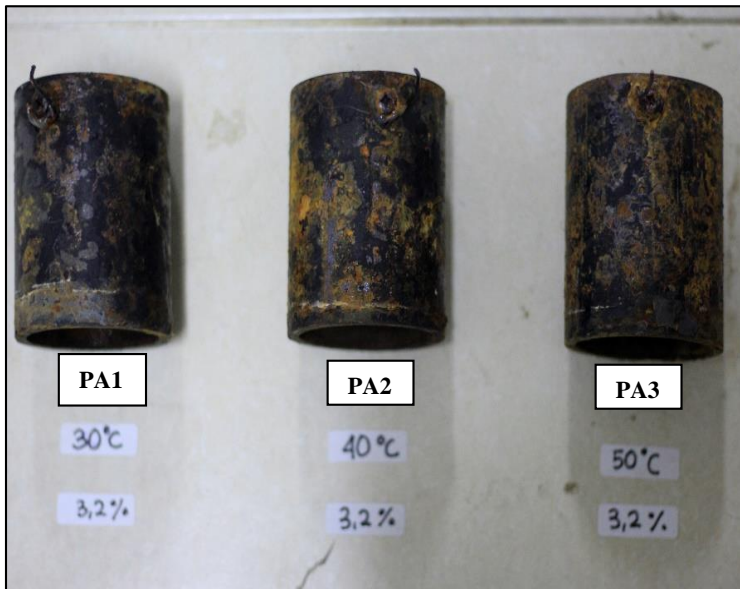
**Gambar 4.12** Hasil Makro Visual Pipa Kodefikasi PA3

---

#### **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**



Pada ketiga pipa dengan kodefikasi PA1, PA2, dan PA3 dilakukan perbandingan makro visual secara bersamaan dan akan dilakukan analisa korosi yang terjadi. hasil makro visual permukaan pipa PA1, PA2, dan PA3 dalam salinitas NaCl 3.2% pada temperatur 30°C, 40°C, dan 50°C dalam sistem proteksi katodik arus paksa



**Gambar 4.13** Perbandingan Hasil Makro Visual Pipa Kodefikasi PA1, PA2, dan PA3

Setelah pengangkatan dari imersi selama 23 hari, sampel akan dilakukan perbandingan dengan pengujian makro visual. Pada sampel PA1, PA2, dan PA3 sesuai dengan gambar 4.13 terlihat adanya korosi yang terjadi berupa korosi merata (*uniform*). Pada gambar 4.10, 4.11, dan 4.12 merupakan hasil makro secara detail setiap pipa dan terlihat korosi jenis yang sama yaitu *uniform*.

#### BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



#### **4.1.6.2 Hasil Makro Visual dari pipa PB1,PB2,PB3 dalam salinitas 3.5% pada temperatur 30°C, 40°C, 50°C**

Berikut merupakan hasil makro visual permukaan pipa PB1, PB2, dan PB3 dalam salinitas NaCl 3.5% pada temperatur 30°C, 40°C, dan 50°C dalam sistem proteksi katodik arus paksa :



**Gambar 4.14** Hasil Makro Visual Pipa Kodefikasi PB1



**Gambar 4.15** Hasil Makro Visual Pipa Kodefikasi PB2

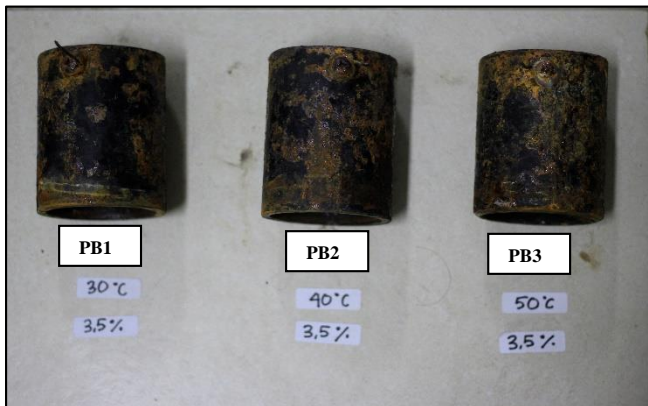
---

## **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**



**Gambar 4.16** Hasil Makro Visual Pipa Kodefikasi PB3

Pada ketiga pipa dengan kodefikasi PB1, PB2, dan PB3 dilakukan perbandingan makro visual secara bersamaan dan akan dilakukan analisa korosi yang terjadi. hasil makro visual permukaan pipa PB1, PB2, dan PB3 dalam salinitas NaCl 3.5% pada temperatur 30°C, 40°C, dan 50°C dalam sistem proteksi katodik arus paksa



**Gambar 4.17** Perbandingan Hasil Makro Visual Pipa Kodefikasi PB1, PB2, dan PB3



Setelah pengangkatan dari imersi selama 23 hari, sampel akan dilakukan perbandingan dengan pengujian makro visual. Pada sampel PB1, PB2, dan PB3 sesuai dengan gambar 4.17 terlihat adanya korosi yang terjadi berupa korosi merata (*uniform*). Pada gambar 4.14, 4.15, dan 4.16 merupakan hasil makro secara detail setiap pipa dan terlihat korosi jenis yang sama yaitu *uniform*.

#### **4.1.6.3 Hasil Makro Visual dari pipa PC1,PC2,PC3 dalam salinitas 3.8% pada temperatur 30°C, 40°C, 50°C**

Berikut merupakan hasil makro visual permukaan pipa PC1, PC2, dan PC3 dalam salinitas NaCl 3.8% pada temperatur 30°C, 40°C, dan 50°C dalam sistem proteksi katodik arus paksa :



**Gambar 4.18** Hasil Makro Visual Pipa Kodefikasi PC1

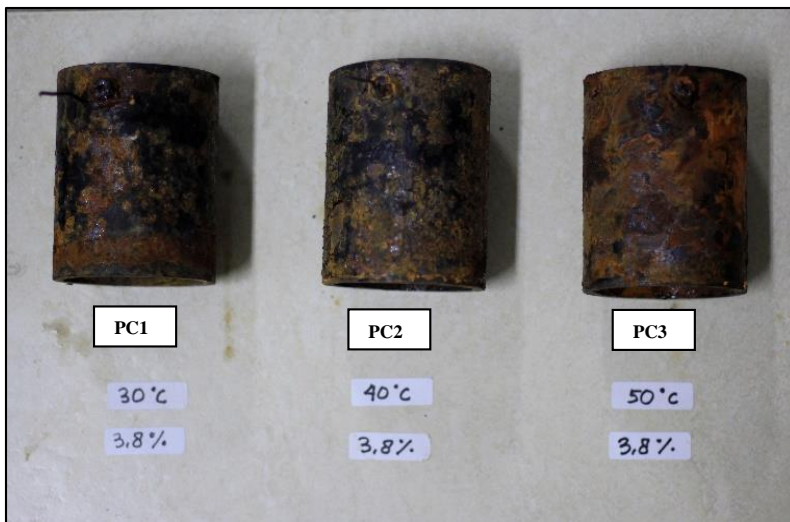


**Gambar 4.19** Hasil Makro Visual Pipa Kodefikasi PC2



**Gambar 4.20** Hasil Makro Visual Pipa Kodefikasi PC3

Pada ketiga pipa dengan kodefikasi PC1, PC2, dan PC3 dilakukan perbandingan makro visual secara bersamaan dan akan dilakukan analisa korosi yang terjadi. hasil makro visual permukaan pipa PC1, PC2, dan PC3 dalam salinitas NaCl 3.8% pada temperatur 30°C, 40°C, dan 50°C dalam sistem proteksi katodik arus paksa



**Gambar 4.21** Perbandingan Hasil Makro Visual Pipa Kodefikasi PC1, PC2, dan PC3

Setelah pengangkatan dari imersi selama 23 hari, sampel akan dilakukan perbandingan dengan pengujian makro visual. Pada sampel PC1, PC2, dan PC3 sesuai dengan gambar 4.21 terlihat adanya korosi yang terjadi berupa korosi merata (*uniform*). Pada gambar 4.18, 4.19, dan 4.20 merupakan hasil makro secara detail setiap pipa dan terlihat korosi jenis yang sama yaitu *uniform*.

#### 4.2 Pembahasan

Pada dasarnya proteksi katodik dengan metode *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)* dilakukan dengan cara

### BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



menurunkan nilai potensial struktur yang akan dilindungi (katoda) hingga pada level terproteksi dari nilai standard potensial proteksi elektroda referen tertentu. Perancangan *ICCP* adalah metode yang tepat untuk melindungi struktur dengan baik dari serangan korosi, terutama pada lingkungan yang korosif seperti air laut.

#### **4.2.1 Pengukuran Arus Proteksi Pipa**

Pada percobaan ini dilakukan simulasi mengenai sistem ICCP yang digunakan untuk melindungi struktur pipa dari jenis baja karbon rendah API 5L grade B. Pipa dilindungi dengan metode ICCP. Pipa diimmersikan pada box container berisi air laut buatan (*simulated ocean*) dengan salinitas berbeda yaitu 3.2% NaCl, 3.5% NaCl, 3.8% NaCl dan dalam kondisi temperatur yang berbeda yaitu 30 °C, 40 °C, 50 °C.

Pengukuran arus proteksi pipa dengan instalasi ICCP dilakukan selama 15 hari dan sebelumnya telah dilakukan imersi pipa untuk pengkondisian awal selama 8 hari tanpa instalasi ICCP (*Open Circuit*). Hal ini dilakukan untuk mencegah pembentukan lapisan pasif yang akan menurunkan efisiensi proteksi dengan arus ICCP. Dengan memberi perlakuan yang sama seperti ini untuk semua spesimen, maka dapat dibandingkan kondisi awal dan kondisi akhir dan untuk memastikan bahwa spesimen mengalami perlakuan yang sama di awal penelitian.

##### **4.2.1.2 Pengukuran Arus Proteksi dalam Salinitas yang Sama**

Dari hasil pengukuran arus proteksi yang didapatkan dapat dilihat bahwa dalam lingkungan elektrolit yang sama, semakin tinggi kondisi temperatur elektrolit maka semakin besar pula arus proteksi yang diberikan pada pipa. Atau dengan kata lain semakin besar temperatur maka semakin besar arus yang dibutuhkan untuk melindungi pipa agar tetap dalam level terproteksi. Jika dikorelasikan dengan teori bahwa semakin tinggi temperatur dari elektrolit maka semakin tinggi pula laju korosi. Seiringnya naiknya temperatur elektrolit maka laju korosi terus meningkat karena





adanya oksigen yang terlarut dan kinetika reaksi kimia meningkat dan menyebabkan tingkat korosi terjadi lebih tinggi.

#### **4.2.1.3 Pengukuran Arus Proteksi dalam kondisi Temperatur yang Sama**

Pengukuran arus proteksi juga dibandingkan berdasarkan lingkungan elektrolit dengan salinitas yang berbeda. Dalam pipa dengan luas goresan yang sama, kebutuhan arus proteksi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya nilai salinitas elektrolit dari 3.2% NaCl, 3.5% NaCl, hingga 3.8% NaCl. Semakin besar konsentrasi NaCl dalam larutan maka akan menurunkan kelarutan oksigen dalam larutan tersebut. Ketika konsentrasi NaCl mencapai nilai 3 hingga 3.5% maka kelarutan oksigen maksimum di dalam larutan NaCl. Namun semakin pekat konsentrasi NaCl maka terjadi penurunan kelarutan agen produksi sehingga laju korosi akan berkurang. (Jones D.A.,1992)

Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi tekanan, temperatur, dan kandungan klorida. Untuk percobaan ini, kandungan oksigen dianggap sama untuk semua nilai salinitas. Kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur dan konsentrasi garam. Kadar oksigen terlarut paling tinggi terdapat pada konsentrasi NaCl 3.5%.

Dari teori diatas dapat dikatakan bahwa seharusnya laju korosi tertinggi pada elektrolit NaCl 3.5%. sehingga arus proteksi yang dibutuhkan lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi NaCl 3.2% dan 3.8%. Namun berdasarkan hasil percobaan ini nilai arus proteksi tertinggi pada larutan NaCl dengan konsentrasi 3.8% Ada beberapa hal yang mendasari kenapa hal ini terjadi.

Hampir semua logam memiliki kemampuan membentuk lapisan pasif yang bersifat protektif pada permukaan logam. Lapisan pasif ini biasanya terbentuk dari oksida logam atau senyawa lain yang akan memisahkan logam dari media (larutan). Namun, bila logam pasif itu kontak dengan media yang Menghasilkan ion-ion agresif seperti ion klorida ( $\text{Cl}^-$ ) maka korosi dapat terjadi. Karena disini lapisan oksida sangat berpengaruh



terhadap pasivasi dan proteksi struktur terhadap korosi. Teori lapisan oksida menunjukkan bahwa ion klorida dapat menembus lapisan film oksida lebih mudah dibandingkan ion lainnya seperti sulfat. Ion klorida bergabung dalam lapisan pasif menggantikan beberapa ion hidroksida sehingga mengakibatkan naiknya konduktivitas dan kelarutan ion tersebut, sehingga lapisan ini kehilangan kemampuan memproteksinya.

Dari hasil pengukuran arus proteksi juga terlihat adanya ketidakstabilan arus pada awal imersi dan semakin stabil seiring bertambahnya waktu. Hal ini disebabkan karena pada awal imersi dilakukan, selaput oksida besi dari produk korosi yang terbentuk secara natural masih dalam proses pembentukan. Karena adanya ion klorida dalam larutan maka akan menghalangi terbentuknya lapisan tipis tersebut. Sehingga arus akan fluktuatif akibat lapisan pasif masih dalam proses pembentukan. Hal ini juga berhubungan dengan teori *ion competitive* antara oksigen terlarut dan ion klorida untuk teradsorpsi ke permukaan logam.

#### 4.2.2 Pengukuran Laju Korosi

Dari hasil pengamatan dari pengukuran laju korosi setiap didapatkan perbedaan laju korosi yang signifikan. Laju korosi yang didapatkan terletak pada rentang 0.5 mm/year hingga 2.5 mm/year dimana rentang tertinggi diperoleh dalam perhitungan laju korosi pipa PC3 yang terletak pada kondisi temperatur 50 °C dan kadar garam NaCl 3.8% dan laju korosi terendah terdapat pada pipa PA1 yang diimersikan pada kondisi kadar garam NaCl 3.2% dan temperatur kamar (30°C). Faktor lingkungan sangat berpengaruh terhadap laju korosi, dimana laju korosi ini juga didapatkan setelah pengujian imersi dengan total waktu 23 hari setara dengan 522 jam pengujian. Adanya faktor lain seperti pH, resistivitas larutan, kondisi pipa juga berpengaruh terhadap laju korosi. Dengan ini menunjukkan bahwa faktor temperatur dan kadar garam NaCl berpengaruh signifikan terhadap perubahan laju korosi.



#### **4.2.3 Hasil Foto Makro Spesimen**

Dari hasil pengamatan makro pada permukaan pipa yang diproteksi untuk mengamati produk korosi yang terjadi, tipe korosi yang terjadi tidak jauh berbeda. Berdasarkan variasi salinitas dan pengondisian temperatur terlihat korosi yang paling parah pada pipa dengan kodefikasi PC3 dengan kondisi temperatur 50 °C dan salinitas NaCl 3.8%. Pada kondisi elektrolit dengan salinitas yang sama, produk korosi terlihat semakin banyak dan cenderung terjadi penumpukan produk korosi dari kondisi 3.2%, 3.5% hingga 3.8% NaCl. Sebagai perbandingan pipa dengan kodefikasi PA1, PB1, PC1 terjadi penumpukan produk korosi yang semakin banyak membentuk kerak. Semakin berwarna cokelat kemerahan. Hal yang sama juga dapat diamati pada pipa PC1, PC2, PC3 dimana produk korosi menutupi hampir seluruh permukaan pipa. Jenis korosi yang terjadi cenderung merupakan korosi merata (*uniform*)



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam salinitas yang sama arus proteksi semakin meningkat seiring meningkatnya salinitas NaCl. Arus proteksi terbesar terdapat pada pipa dengan kodefikasi PA3 dalam salinitas 3.2% sebesar 1.16 mA, PB3 dalam salinitas 3.5% sebesar 1.23 mA, dan PC3 dalam salinitas 3.8% sebesar 1.38 mA.
2. Untuk temperatur yang sama arus proteksi sistem ICCP semakin meningkat seiring meningkatnya temperatur pada elektrolit. Arus proteksi terbesar pada temperatur 30 °C didapat pada pipa dengan kodefikasi PA3 sebesar 1.16 mA, pada temperatur 40 °C didapat pada pipa PB3 sebesar 1.23 mA, dan pada temperatur 50 °C didapat pada pipa PC3 sebesar 1.38 mA.

#### **5.2 Saran**

1. Menggunakan spesimen uji berbentuk plat untuk mengurangi kemungkinan air masuk ke dalam pipa agar nilai arus proteksi yang diberikan lebih valid.
2. Menggunakan variasi salinitas dan temperatur dengan rentang yang lebih besar agar menemukan perbedaan arus proteksi yang lebih signifikan.
3. Menggunakan rectifier yang sesuai standar agar suplai arus yang diberikan lebih valid.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR PUSTAKA

- Bahadori, A. 2014. *Cathodic Corrosion Protection Systems: a guide for oil and gas industries*. gulf professional publishing.
- Fontana, M. G. 1986. *materials science and engineering series: corrosion engineering*. michigan: mcgraw-hill.
- Ahmad, Z. 2006. *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control* . Butterworth-Henneaman
- NACE. 2012. *TX Patent no. TM0457-2012 Measurement Techniques related to criteria for cathodic protection on underground or submerged metallic piping systems*. houston.
- Peabody, A. 2001. *control of pipeline corrosion, second edition*. Texas: NACE Internasional.
- Trethewey, K. 1991. *Korosi untuk mahasiswa dan rekayasawan*.
- Whitten, K., & Davis, R. E. 2013. *General Chemistry. 10th penyunt*. Texas: Cengage Learning.
- Sulistijono 2006. *Desain Proteksi Katodik Arus Paksa (ICCP) untuk pipa air dalam tanah*. Surabaya: ITS.
- Rohmannudin, T. N, dkk. 2016. *Pengaruh Kadar Air, Jenis Tanah terhadap penyediaan arus sistem Impressed Current Cathodic Protection untuk proteksi korosi pipa baja*. Surabaya: ITS.
- Misbah M. N. 2012. *Analisis pengaruh salinitas dan suhu air laut terhadap laju korosi baja A36 pada pengelasan SMAW*. Surabaya: ITS
-



- Pratama T. L. 2015. *Pengaruh Variasi Goresan Lapis Lindung dan Variasi PH Tanah terhadap arus proteksi sistem Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) pada pipa API 5L grade B*. Surabaya: ITS
- Rohmannudin, T. N, dkk. 2016. *Perancangan Proteksi Arus Paksa pada pipa baja API 5L dengan coating dan tanpa coating di dalam tanah*. Surabaya: ITS
- Wiludin, Afif, 2013. *Analisa Teknis dan Ekonomis penggunaan ICCP (Impressed Current Cathodic Protection) dibandingkan dengan Sacrificial Anode dalam proses pencegahan korosi*. Surabaya; ITS.
- Shobab, M Nurus. 2014. “*Pengaruh Goresan Lapis Lindung dan Salinitas Air Laut Terhadap Arus Proteksi ICCP pada Pipa API 5L grade B*” Tugas Akhir Jurusan Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Shreir, L. L, R.A. Jarman, G.T. Burstein, *Corrosion Control, Vol. 2*. 1994. Oxford: Butter Worth-Heinemann Ltd.
- McCoy, J. E. Juni 1970 “*Corrosion Control by Cathodic Protection*”. Transactions of the Institute of Marine Engineering, Vol.82, No 6: 82-86
- Sulistijono. Diktat Kuliah Korosi, 1999. Surabaya: Fakultas Teknologi Industri ITS
- Leo, Trendy. 2011. “*Pengaruh Salinitas dan Cacat Gores terhadap Kebutuhan Arus Proteksi Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) pada pipa baja API 5l grade B di Lingkungan Air Laut*” Tugas Akhir FTI ITS







## LAMPIRAN

### 1. Perhitungan Desain ICCP

#### 1. Luas permukaan yang akan diproteksi

Pada proses imersi pipa, luas permukaan yang akan dilindungi merupakan luas permukaan pipa yang mengalami kontak langsung dengan larutan NaCl. Perhitungan luas permukaan pipa dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

Luas permukaan yang akan dilindungi

$$\begin{aligned} A_p &= \pi D t \\ &= 3.14 \times 6 \times 10 \\ &= 188.4 \text{ cm}^2 \\ &= 0.0188 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Dengan

$$\begin{aligned} A_p &= \text{Luas permukaan pipa} \\ \pi &= 3.14 \\ D &= \text{Diameter pipa} \\ T &= \text{Panjang pipa} \end{aligned}$$

#### 2. Luas permukaan anoda

Dalam proteksi katodik arus paksa, luas permukaan anoda sangat mempengaruhi keluaran arus anoda. Semakin besar luas permukaan anoda, keluaran arus semakin besar sehingga akan menimbulkan pemborosan. Luas permukaan anoda yang dihitung merupakan luas total dari sebuah anoda, dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

Luas permukaan anoda

$$\begin{aligned} A_a &= (\pi D t) + 2(\pi D) \\ &= (3.14 \times 3.5 \times 1.3) + 2(3.14 \times 3.5) \\ &= 14.287 + 21.98 = 26.267 \text{ cm}^2 \\ &= 0.00267 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

## LAMPIRAN



Dengan

$A_a$  = Luas permukaan anoda

$\pi$  = 3.14

$D$  = Diameter anoda

$T$  = Panjang anoda

### 3. Kebutuhan arus proteksi

Kebutuhan arus proteksi merupakan arus minimal yang dibutuhkan untuk melindungi pipa. Kebutuhan arus proteksi melibatkan rapat arus dari pipa, dimana rapat arus pipa tanpa coating sebesar  $20 \text{ mA/m}^2$  (IEEE-ERCSA). Kebutuhan arus proteksi pipa dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

Kebutuhan arus proteksi

$$\begin{aligned} I_p &= A_p \text{ Cd } 1.2 \\ &= 0.0188 \times 20 \times 1.2 \\ &= 0.451 \text{ mA} \end{aligned}$$

Dengan

$I_p$  = kebutuhan arus proteksi

$A_p$  = luas permukaan yang akan diproteksi

$\text{Cd}$  = rapat arus pipa tanpa coating

1.2 = toleransi 20%

### 4. Keluaran arus anoda

Keluaran arus anoda merupakan arus yang mampu dikeluarkan oleh anoda, hal ini berkaitan dengan luas anoda yang digunakan dan jenis anoda. anoda yang digunakan berupa anoda grafit. Selain grafit, dapat menggunakan anoda high silicon cast iron, platina, platinized titanium, atau beberapa material lainnya yang memiliki potensial lebih besar dari material yang akan diproteksi. Anoda grafit sendiri memiliki rapat arus maksimal sebesar  $2.5 - 10 \text{ A/m}^2$ . Keluaran arus anoda dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :



Keluaran arus anoda

$$\begin{aligned} I_E &= A_a \text{ Cd}_a \\ &= 0.00267 \text{ 6.25} \\ &= 0.0166 \text{ A} \\ &= 17 \text{ mA} \end{aligned}$$

Dengan

$$\begin{aligned} I_E &= \text{keluaran arus anoda} \\ A_a &= \text{luas permukaan anoda} \\ \text{Cd}_a &= \text{rapat arus anoda} \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan Laju Korosi

### 2.1 Perhitungan pada pipa PA1

Dimana pada PA1 didapatkan selisih berat awal dan akhir yaitu sebesar 7.56 gram. Diketahui bahwa :

$$CR = \frac{87,6 \text{ W}}{DAT}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} CR &= \text{Laju korosi (mm/year)} \\ D &= \text{Densitas (gram/cm}^3\text{)} \\ W &= \text{Berat yang hilang (gram)} \\ A &= \text{Luas permukaan (cm}^2\text{)} \\ T &= \text{Waktu (jam)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR &= \frac{87,6 \times 7.56 \text{ gram}}{7.86 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3} \times 188 \text{ cm}^2 \times 522 \text{ jam}} \\ &= \frac{662.256}{815.679} = 0.811907 \text{ mm/year} \end{aligned}$$



## 2.2 Perhitungan pada pipa PA2

Dimana pada PA2 didapatkan selisih berat awal dan akhir yaitu sebesar 8.5 gram. Diketahui bahwa :

$$CR = \frac{87,6 W}{DAT}$$

Dimana :

- CR = Laju korosi (mm/year)  
D = Densitas (gram/cm<sup>3</sup>)  
W = Berat yang hilang (gram)  
A = Luas permukaan (cm<sup>2</sup>)  
T = Waktu (jam)

$$\begin{aligned} CR &= \frac{87,6 \times 8.5 \text{ gram}}{7.86 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3} \times 188 \text{ cm}^2 \times 522 \text{ jam}} \\ &= \frac{744.6}{815.679} = 0.912859 \text{ mm/year} \end{aligned}$$

## 2.3 Perhitungan pada pipa PA3

Dimana pada PA3 didapatkan selisih berat awal dan akhir yaitu sebesar 10.21 gram. Diketahui bahwa :

$$CR = \frac{87,6 W}{DAT}$$

Dimana :

- CR = Laju korosi (mm/year)  
D = Densitas (gram/cm<sup>3</sup>)  
W = Berat yang hilang (gram)  
A = Luas permukaan (cm<sup>2</sup>)  
T = Waktu (jam)



$$\begin{aligned} CR &= \frac{87,6 \times 10.21 \text{ gram}}{7.86 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3} \times 188 \text{ cm}^2 \times 522 \text{ jam}} \\ &= \frac{662.256}{815.679} = 1.096504 \text{ mm/year} \end{aligned}$$

#### 2.4 Perhitungan pada pipa PB1

Dimana pada PB1 didapatkan selisih berat awal dan akhir yaitu sebesar 8.1 gram. Diketahui bahwa :

$$CR = \frac{87,6 W}{DAT}$$

Dimana :

- CR = Laju korosi (mm/year)
- D = Densitas (gram/cm<sup>3</sup>)
- W = Berat yang hilang (gram)
- A = Luas permukaan (cm<sup>2</sup>)
- T = Waktu (jam)

$$\begin{aligned} CR &= \frac{87,6 \times 8.1 \text{ gram}}{7.86 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3} \times 188 \text{ cm}^2 \times 522 \text{ jam}} \\ &= \frac{709.56}{815.679} = 0.869901 \text{ mm/year} \end{aligned}$$

#### 2.5 Perhitungan pada pipa PB2

Dimana pada PB2 didapatkan selisih berat awal dan akhir yaitu sebesar 9.87 gram. Diketahui bahwa :

$$CR = \frac{87,6 W}{DAT}$$



Dimana :

- CR = Laju korosi (mm/year)  
D = Densitas (gram/cm<sup>3</sup>)  
W = Berat yang hilang (gram)  
A = Luas permukaan (cm<sup>2</sup>)  
T = Waktu (jam)

$$CR = \frac{87,6 \times 9.87 \text{ gram}}{7.86 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3} \times 188 \text{ cm}^2 \times 522 \text{ jam}}$$
$$= \frac{864.612}{815.679} = 1.059891 \text{ mm/year}$$

### 2.6 Perhitungan pada pipa PB3

Dimana pada PB3 didapatkan selisih berat awal dan akhir yaitu sebesar 14.65 gram. Diketahui bahwa :

$$CR = \frac{87,6 W}{DAT}$$

Dimana :

- CR = Laju korosi (mm/year)  
D = Densitas (gram/cm<sup>3</sup>)  
W = Berat yang hilang (gram)  
A = Luas permukaan (cm<sup>2</sup>)  
T = Waktu (jam)

$$CR = \frac{87,6 \times 14.65 \text{ gram}}{7.86 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3} \times 188 \text{ cm}^2 \times 522 \text{ jam}}$$
$$= \frac{1283.34}{815.679} = 1.573349 \text{ mm/year}$$



### 2.7 Perhitungan pada pipa PC1

Dimana pada PC1 didapatkan selisih berat awal dan akhir yaitu sebesar 11.8 gram. Diketahui bahwa :

$$CR = \frac{87,6 W}{DAT}$$

Dimana :

- CR = Laju korosi (mm/year)
- D = Densitas (gram/cm<sup>3</sup>)
- W = Berat yang hilang (gram)
- A = Luas permukaan (cm<sup>2</sup>)
- T = Waktu (jam)

$$\begin{aligned}
 CR &= \frac{87,6 \times 11,8 \text{ gram}}{7,86 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3} \times 188 \text{ cm}^2 \times 522 \text{ jam}} \\
 &= \frac{1033,68}{815,679} = 1,267263 \text{ mm/year}
 \end{aligned}$$

### 2.8 Perhitungan pada pipa PC2

Dimana pada PC2 didapatkan selisih berat awal dan akhir yaitu sebesar 15.23 gram. Diketahui bahwa :

$$CR = \frac{87,6 W}{DAT}$$

Dimana :

- CR = Laju korosi (mm/year)
- D = Densitas (gram/cm<sup>3</sup>)
- W = Berat yang hilang (gram)
- A = Luas permukaan (cm<sup>2</sup>)
- T = Waktu (jam)





$$\begin{aligned} \text{CR} &= \frac{87,6 \times 15.23 \text{ gram}}{7.86 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3} \times 188 \text{ cm}^2 \times 522 \text{ jam}} \\ &= \frac{1334.148}{815.679} = 1.635628 \text{ mm/year} \end{aligned}$$

### 2.9 Perhitungan pada pipa PC3

Dimana pada PC3 didapatkan selisih berat awal dan akhir yaitu sebesar 23.65 gram. Diketahui bahwa :

$$\text{CR} = \frac{87,6 W}{DAT}$$

Dimana :

- CR = Laju korosi (mm/year)
- D = Densitas (gram/cm<sup>3</sup>)
- W = Berat yang hilang (gram)
- A = Luas permukaan (cm<sup>2</sup>)
- T = Waktu (jam)

$$\begin{aligned} \text{CR} &= \frac{87,6 \times 23.65 \text{ gram}}{7.86 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3} \times 188 \text{ cm}^2 \times 522 \text{ jam}} \\ &= \frac{2071.74}{815.679} = 2.539896 \text{ mm/year} \end{aligned}$$





## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Pada pembuatan laporan tugas akhir ini penulis mendapat banyak bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan kali ini penulis ini mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan baik.
2. Alm. Bapak, Ibu, Akhdan serta keluarga yang selalu mendoakan penulis dan memberikan semangat, dukungan, cinta kasih serta motivasi.
3. Bapak Tubagus dan Bapak Lukman selaku dosen pembimbing tugas akhir yang membimbing penulis dalam mengerjakan laporan tugas akhir dari awal hingga akhir, serta memberikan banyak ilmu terkait tugas akhir yang dikerjakan oleh penulis.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI – ITS.
5. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI-ITS.
6. Bapak Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.
7. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
8. Rahadian Eka Paksi, partner penulis laporan tugas akhir ini yang telah membantu penulis.
9. Alvan sahabat penulis yang selalu mendukung, memberi semangat, dan menemani penulis dengan canda-tawa serta tangis selama pengerjaan tugas akhir ini.



10. Henny, selaku teman dekat penulis yang telah rela mendengarkan cerita, dan membantu penulis selama mengerjakan tugas akhir ini.
11. Mas Rifqi Aulia, tentor penulis yang telah banyak membantu dan memberikan banyak pembelajaran selama penulis menjalani pengerjaan tugas akhir.
12. Mas Rizal Pambudi, senior penulis yang telah memberikan banyak pembelajaran dan ilmu terkait ICCP.
13. Arifa, selaku teman penulis yang telah rela direpoti untuk menjadi teman curhat dan membantu penulis mengerjakan tugas akhir
14. Para anggota “MPR Vape Squad” sekaligus keluarga kedai kopikalii yaitu Mas Gilang, Mas Khrisna, Mas Jeki, Mas Enggar, Mas Fahmi, Mas Ricko, Dhandot, Hed, Sabri, Topin, Iqbal, Mas Dimas, Mas Ihsan, Lili, Mas Budi Kunci, Indah, Nia, Mas Akmal, Lukman, Brewok, Adike Brewok ,Mas Cimbe, Mas Soleh dll yang telah memberikan waktu ngopi, dukungan dan motivasi untuk penulis.
15. Para anggota “Sky Film Production” yaitu Dicka, Udin, dan Rizky yang selalu memberikan pengalaman tentang videografi dan mendukung penulis selama berkarir.
16. Sam Kolder & Rob Strok, Influencer yang telah menginspirasi penulis dan memotivasi dalam berkarir dalam passion penulis
17. Keluarga besar kru “gili\_ketapang” yaitu mas saiful, mas nur, dll yang telah memberikan kesempatan penulis dalam menjalankan rangkaian pekerjaan secara part time..
18. Khanza, Putol, Indri, Reza, Nadya, selaku temen traveling penulis dalam mencari jati diri dengan melakukan hitchhiking perjalanan ke timur nusantara.



19. Teman-teman Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan Material yang memberikan cerita, ilmu dan canda-tawa selama bekerjasama dengan penulis.
20. Teman-teman Unit Kerja Khusus HMMT FTI-ITS 15/16 yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis.
21. Teman-teman Rumah Singgah Lombok yang telah memberikan banyak cerita menarik selama penulis bersinggah dalam sebuah perjalanan ke timur nusantara.
22. Teman-teman OC GERIGI ITS 2015 dan Kakak Pendamping GERIGI ITS 2016 yang telah membagikan banyak cerita yang berbeda dari masing-masing departemen kepada penulis.
23. Teman-teman seperjuangan MT16 yang membantu, mendukung penulis, dan memberikan banyak kenangan bersama penulis.
24. Teman-teman MT17 dan MT18 yang mendukung penulis dalam pengerjaan laporan tugas akhir ini.
25. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.
26. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **BIODATA PENULIS**



Penulis dilahirkan di Jombang, 12 Juni 1996, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Islam Mutiara, SD Muhammadiyah 4 Pucang Surabaya, kemudian SMP Negeri 19 Surabaya dan SMA Negeri 16 Surabaya. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya melalui jalur SBMPTN di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2014 terdaftar dengan NRP 02511440000088.

Di Teknik Material dan Metalurgi penulis memilih bidang Korosi dan Analisa Kegagalan. Selama berkuliah, penulis berkegiatan organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Material & Metalurgi FTI - ITS dan pernah menjabat menjadi staff ahli unit kerja khusus.. Berbagai pelatihan seperti LKMM Pra TD, PKTI, EBW dll pernah diikuti oleh penulis. Penulis juga telah melaksanakan kerja praktik di PT Panasonic Manufacture PIER Pasuruan. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email dan nomor 081335695885 / abyankh@gmail.com